

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**EFFETS DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX DANS L'ÉVOLUTION DES
MARAIS INTERTIDIAUX DU BARACHOIS DE LA RIVIÈRE NOUVELLE, BAIE DES
CHALEURS, QUÉBEC**

**MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI**

**comme exigence partielle du programme
de maîtrise en gestion de la faune et de ses habitats**

**PAR
CHANTAL QUINTIN**

Avril 2010

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

REMERCIEMENTS

La réalisation et l'aboutissement de ce mémoire sont sans contredit le fruit de mes efforts, mais également du soutien de plusieurs personnes. J'aimerais donc remercier mon directeur Pascal Bernatchez pour le support pédagogique et technique qu'il a su m'apporter. Je le remercie pour la chance qu'il m'a donnée de réaliser cette aventure ainsi que pour la confiance qu'il a eue en moi.

J'aimerais également remercier Thomas Buffin-Bélanger et Luc Sirois, codirecteurs pour leur aide technique ainsi que pour le partage de leurs connaissances.

Je remercie particulièrement ceux et celles qui m'ont assistée sur le terrain : Jérôme Dubé, Sylvio Demers, Susan Drejza, Anne-Marie Leclerc, Michel Grégoire, Jean-Daniel Côté.

Mes remerciements vont également à Michelle Garneau ainsi qu'à Manon Savard pour m'avoir aidée à identifier un nombre impressionnant de végétaux. Je suis particulièrement reconnaissante envers Alain Caron pour l'aide dans l'analyse de la cartographie historique et à Roch Guévremont pour l'aide précieuse apportée dans les analyses granulométriques et de perte au feu.

Je tiens à remercier tous les étudiants et professionnels de recherche actuels et passés du laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières ainsi que du

laboratoire en dynamique fluviale pour leur soutien tant académique que technique et pour le cadre de recherche stimulant dans lequel j'ai pu travailler. Merci également à Françoise Bruaux et Michel Lajoie du Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire pour leurs encouragements dans le dernier droit de mon mémoire.

J'adresse des remerciements particuliers à ma famille et à mes amis qui m'ont encouragée tout au long de mes études. Parmi eux, je m'en voudrais de ne pas souligner l'aide précieuse de mon conjoint. Merci Guillaume pour ton amour inconditionnel et pour m'avoir soutenue moralement tout au long de ce merveilleux cheminement. Merci Florence et Léopold pour vos multiples sourires et vos yeux émerveillés.

Enfin, cette recherche a été possible grâce au soutien financier de la chaire de recherche en géoscience côtière de l'UQAR, de BIONORD ainsi qu'à celui de la Fondation communautaire Gaspésie-Les Îles.

RÉSUMÉ

Les marais intertidaux font partie des habitats les plus sensibles aux changements environnementaux tels que les activités forestières et agricoles, la hausse du niveau marin, les vagues de tempête et les processus glaciels. Les données concernant les causes et les effets précis de ces changements sur l'évolution des marais intertidaux sont rares et plus particulièrement dans la baie des Chaleurs. Afin d'évaluer le rôle des facteurs environnementaux qui ont influencé la dynamique des marais intertidaux, nous avons choisi de documenter l'évolution de deux marais intertidaux du barachois de la rivière Nouvelle, situés dans la baie des Chaleurs, au Québec. Ces deux marais font partie d'un même système, système estuarien avec flèche littorale. L'un est situé derrière la flèche littorale sud-ouest et l'autre au fond de la baie, à l'embouchure de la rivière Nouvelle. La méthodologie repose sur une approche spatio-temporelle à deux échelles. D'abord, des indicateurs paléoenvironnementaux provenant d'une analyse de macrorestes végétaux de trois carottes extraites dans les marais a permis de reconstituer la paléoécologie du marais depuis le début de la sédimentation fine (595 BP) jusqu'à aujourd'hui. Ensuite, une cartographie multirate (1934-2007) des habitats côtiers et de l'occupation du sol a quantifié les changements récents du marais. Finalement une analyse dendrochronologique effectuée sur des billots de bois récoltés sous le dépôt du marais a permis d'estimer un taux d'accrétion. Les résultats montrent que les deux marais, localisés dans le même système lagunaire, répondent différemment aux facteurs environnementaux. Le marais situé à l'embouchure de la rivière Nouvelle a connu un gain de plus de 19 % alors que celui situé derrière la flèche littorale a subi une perte de 73 % au cours des 73 dernières années. L'érosion de ce marais est principalement attribuable aux vagues de tempête. L'évolution du marais situé à l'embouchure de la rivière Nouvelle a été fortement influencée par les activités de coupes forestières survenues dans le bassin versant qui ont contribué positivement au bilan sédimentaire favorisant l'accrétion verticale et l'expansion du marais. D'ailleurs, les taux d'accrétion estimés pour ce marais varient de 0,45 cm/an à 1,06 cm/an comparativement à 0,31 cm/an à 0,37 cm/an pour celui situé derrière la flèche littorale. Ces valeurs sont nettement supérieures aux taux mesurés dans les marais de l'estuaire du Saint-Laurent. À l'échelle séculaire, l'analyse des macrorestes végétaux indique que les deux marais se sont ajustés à la hausse du niveau marin passant d'une herbaçaille salée à un schorre supérieur.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	II
RÉSUMÉ	IV
TABLE DES MATIÈRES.....	V
Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures	VIII
Liste des annexes.....	X
CHAPITRE I.....	1
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1. Problématique.....	1
1.2. Objectif général et objectifs spécifiques.....	4
1.3. Présentation du mémoire	5
CHAPITRE II	6
CADRE THÉORIQUE : SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LA DYNAMIQUE DES MARAIS INTERTIDAux	6
2.1. Généralités sur les marais intertidaux.....	6
2.1.1. Définition et classification des marais intertidaux.....	6
2.1.2. Écogéomorphologie des marais intertidaux.....	8
2.2. Relation entre les facteurs environnementaux et l'écogéomorphologie des marais intertidaux	13
2.2.1. Facteurs naturels	13
2.2.2. Facteurs anthropiques	17
2.3. Indicateurs permettant l'identification des facteurs environnementaux influençant l'écogéomorphologie des marais	18
2.3.1. Indicateurs paléoenvironnementaux	20
2.3.2. Indicateurs historiques et actuels	24
2.3.3. Datations	28

CHAPITRE III.....	29
DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE	29
3.1. Localisation et délimitation de la zone d'étude	29
3.2. Cadres géologique et géomorphologique	30
3.3. Cadre hydrosédimentaire	34
3.4. Cadre écogéomorphologique	35
3.5. Utilisation du territoire par l'homme	36
CHAPITRE IV	40
EFFETS DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX DANS L'ÉVOLUTION DE DEUX MARAIS INTERTIDAUX DU BARACHOIS DE LA RIVIÈRE NOUVELLE, BAIE DES CHALEURS, QUÉBEC.....	40
CHAPITRE V	81
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	81
RÉFÉRENCES.....	85

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Inventaire des techniques, méthodes et indicateurs utilisés dans l'étude de l'évolution des marais intertidaux selon l'échelle de temps.	19
Tableau 2. Événements ayant enregistré un niveau d'eau supérieur à 3 m entre 2000 et 2006 de la station marégraphique de Belledune au Nouveau-Brunswick, selon Bernatchez <i>et al.</i> (2008).	33
Tableau 3. Volume (pieds cubes) de bois coupé dans le bassin versant de la rivière Nouvelle et dans la province entre 1947-1963 selon le document de la cession du Québec.	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Zonation d'un marais intertidal du Québec maritime, modifiée de Quintin <i>et al.</i> (2006).	6
Figure 2. Classification géomorphologique des marais intertidaux, selon Allen (2000)..	8
Figure 3. Illustration de la composante verticale (A) et horizontale (B) d'un marais intertidal, modifiée de Verger (2008) et Delaune <i>et al.</i> (1990).	9
Figure 4. Facteurs contrôlant l'accrétion verticale d'un marais salé, selon Chmura <i>et al.</i> (2001)..	10
Figure 5. Schéma conceptuel sur les interactions complexes entre la végétation et la géomorphologie des marais intertidaux, selon Quintin <i>et al.</i> (2006)..	12
Figure 6. Représentation schématique des processus glaciels à l'origine des marelles, selon Fournier <i>et al.</i> (1987)..	16
Figure 7. Diagramme de macrorestes végétaux illustrant un changement hydrologique du milieu en 1869, engendré par les activités agricoles, selon Plante (2005).	21
Figure 8. Stratigraphie d'un dépôt constituant un schorre supérieur à Montmagny montrant trois faciès : 1. faciès de slikke ; 2. faciès de schorre inférieur ; et 3. faciès de schorre supérieur, révélant une régression marine des eaux, selon Dionne (2004)..	23
Figure 9. Limite de la méthode par transect perpendiculaire selon une ligne de référence perpendiculaire à un trait de côte linéaire (A), irrégulier (B) et selon une ligne de référence représentative du trait de côte (C), modifiée de Moran (2003)..	25
Figure 10. Division du paysage selon trois niveaux. Le paysage inclut 14 taches (polygones) qui est divisé en trois classes, selon McGarigal et Marks (1994)..	26
Figure 11. Matrice de transition montrant la direction des changements observés pour la période de 1968 à 1994, selon Guzman (2003)..	27
Figure 12. Localisation de la zone d'étude et caractéristiques océanographiques et hydrologiques du barachois de la rivière Nouvelle, modifiée de Gagnon (2002).	29
Figure 13. Courbe de la variation du niveau marin relatif dans la région de la baie des Chaleurs, modifiée de Bail (1983).	32
Figure 14. Production de bois (en p.m.p) des scieries gaspésiennes en 1937, selon le ministère des Terres et des Forêts, 1950, source Côté (2008)..	37

Figure 15. Billots de bois sous le dépôt du marais, été 2006.39

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Caractéristiques des carottes échantillonnées.....	94
Annexe 2. Caractéristiques des billots de bois récoltés pour l’analyse dendrochronologique.	95
Annexe 3. Taux de déplacement moyen (m/an) par période d’années des limites inférieures des marais à l’étude et de la limite interne de la flèche littorale.	96
Annexe 4. Déplacement de la limite interne de la flèche littorale sud-ouest.	97
Annexe 5. Déplacement de la limite inférieure du schorre inférieur du marais situé à l’embouchure de la rivière Nouvelle.	98
Annexe 6. Déplacement de la limite inférieure du schorre inférieur du marais de la flèche littorale sud-ouest.....	99
Annexe 7. Indicateurs de la structure du paysage retenus pour l’analyse cartographique historique du marais de la baie (entre 1934 et 2004) et de celui de la flèche littorale sud- ouest (entre 1934 et 2007). Ratio moyen périmètre-aire (MPAR) (A), densité de bordure (ED) (B).	100
Annexe 8. Caractéristiques des plaques à sédiments.....	101
Annexe 9. Variation verticale estimée à partir des mesures prise à l’aide des plaques à sédiment durant l’année 2006 à 2007.	102
Annexe 10. Caractéristiques des datations par spectrométrie de masse.	103

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1. Problématique

Les marais intertidaux comptent parmi les habitats les plus productifs de la planète (Adam, 1990; Keddy, 2000). Ils sont un lieu d'alimentation, de reproduction, de transition ou de refuge pour de nombreuses espèces. De plus, ils agissent comme des filtres naturels par l'absorption de contaminants par les plantes (Keddy, 2000). En revanche, les marais intertidaux font partie des habitats les plus sensibles aux changements environnementaux (Adam, 1990, 2002; Keddy, 2000). Ces changements sont engendrés par des pressions anthropiques telles que les coupes forestières, l'activité agricole et l'urbanisation (Orson *et al.*, 1985; Ward *et al.*, 1998). Sur les rives du Saint-Laurent, le remblaiement et l'agriculture semblent être les principales causes de la perte de grande superficie de marais. Dans le secteur de Kamouraska, entre 1976 et 2002, la superficie totale des marais a diminué de 51 % (Environnement Canada, 2006a). La plupart des pertes sont reliées à la construction d'aboteaux entre 1960 et 1990 convertissant la grande partie du marais en terres agricoles (Environnement Canada, 2006a). Depuis quelques années, plusieurs études réalisées sur la côte est américaine et canadienne révèlent qu'ils sont également menacés par des processus naturels. Ils sont parmi les types de systèmes côtiers du Québec maritime les plus sensibles au phénomène d'érosion (Bernatchez et Dubois, 2004), un phénomène qui s'est récemment accéléré (Dionne, 2000). Sur les rives du Saint-Laurent, et plus particulièrement dans l'estuaire moyen, le taux moyen d'érosion du schorre supérieur a été évalué à 1,4 m par année depuis les années 1990 (Bernatchez et Dubois, 2004). Les causes

évoquées sont l'élévation du niveau marin (Ward *et al.*, 1998; Simas *et al.*, 2001), les événements météorologiques extrêmes (Reed, 1989; Roman *et al.*, 1997), la cyclicité des épisodes d'accumulation et d'érosion des marais (Pringle, 1995; Allen, 1997, 2000; Ward *et al.*, 1998), l'action des glaces littorales (Dionne, 1969, 1972, 1984, 1986, 1989, 2000) et l'activité des oies (Dionne, 2000). L'état des connaissances sur les marais intertidaux situés sur les rives du Saint-Laurent ne permet pas encore de déterminer les causes spécifiques de la perte de ces habitats. En contrepartie, plusieurs travaux ont été réalisés afin d'approfondir les connaissances sur différents aspects de ces écosystèmes.

Les études réalisées sur les marais situés sur les rives du Saint-Laurent portent sur les formations végétales (Prat, 1933; Couillard et Grondin, 1986), sur la dynamique sédimentaire (Morin, 1981; Drapeau, 1981 et 1992; Sérodes et Dubé, 1983; Sérodes et Troude, 1984; Sérodes *et al.*, 1985; Troude et Sérodes; 1990), sur l'érosion des marais intertidaux (Dionne, 1986, 2000; Bernatchez et Dubois, 2004), sur l'influence des glaces littorales (Dionne, 1969; 1972; 1984; 1985; 1989; Troude et Sérodes, 1988), sur la productivité primaire (Giroux et Bédard 1987), sur le recyclage des contaminants par les marais (Deschênes et Sérodes, 1986), sur la dénitrification des marais (Poulin *et al.*, 2007), sur l'âge et le taux moyen d'accrétion verticale des schorres (Dionne, 2004), sur leur reconstitution paléoécologique (Garneau, 1998; Hatvany, 2003; Plante, 2005) et sur la relation entre la géomorphologie et l'écologie végétale (Quintin *et al.*, 2006). Ces études ont permis d'approfondir les connaissances de type biologique, écologique, géomorphologique et sédimentologique des marais situés dans la partie estuarienne du Saint-Laurent. En

revanche, aucune de ces études ne traite principalement des causes liées à la formation et aux pertes des marais intertidaux, et ce, particulièrement pour les marais de la baie des Chaleurs. Ainsi, il y a un manque important de connaissances sur la dynamique des marais intertidaux et plus spécifiquement sur les effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux de la baie des Chaleurs.

Les effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux en lien avec les variations du niveau marin sont assez bien documentés sur la côte est américaine et les provinces maritimes (Allen, 1990; Orson *et al.*, 1998; Van Proosdij *et al.*, 2006). Différentes approches sont utilisées telles que la cartographie historique (Halls et Kraatz, 2006; Morissette, 2007), la reconstitution paléoécologique (Chmura *et al.*, 2001), l'estimation du taux d'accrétion verticale (Delaune *et al.*, 1990; Cahoon *et al.*, 1995), l'estimation du taux d'érosion de la ligne de rivage (Van Proosdij *et al.*, 2006). En revanche, peu d'études privilégient une approche spatio-temporelle combinant à la fois une cartographie historique et une reconstitution paléoécologique. De façon globale, cette approche a pour but de mieux comprendre la réponse des marais intertidaux aux facteurs environnementaux, à l'aide d'indicateurs selon deux échelles temporelles soit une période inférieure à 100 ans et une seconde, supérieure à 100 ans. Ainsi, cette approche permet de caractériser les effets des facteurs environnementaux dans l'évolution de la végétation, de la sédimentation et de la surface des marais, effets pouvant prendre un certain nombre d'années avant d'être observable.

1.2. Objectif général et objectifs spécifiques

Les facteurs naturels et anthropiques jouent un rôle dans la composition et la structure des marais intertidaux sur une variété d'échelles spatiales et temporelles (Adam, 1990, 2002; Keddy, 2000). Les effets de ces perturbations sont mal connus pour les marais de la baie des Chaleurs. Afin d'en arriver à une plus grande compréhension de la dynamique des marais intertidaux et plus particulièrement des effets des facteurs environnementaux dans l'évolution de ces derniers, deux marais ont été choisis. Ces deux marais font partie d'un même et vaste système côtier, qui correspond, selon la classification de Allen (2000), à un système estuarien avec flèches littorales. Il s'agit du barachois de la rivière Nouvelle. Le barachois de la rivière Nouvelle témoigne de perturbations naturelles passées et actuelles, mais également de perturbations d'origine anthropique depuis les 100 dernières années.

Objectif général

L'objectif principal de cette recherche vise à caractériser l'évolution de deux marais intertidaux du barachois de la rivière Nouvelle, dans la baie des Chaleurs.

Objectifs spécifiques

- 1) Décrire les caractéristiques paléocéologiques des marais intertidaux à partir du début de la sédimentation fine jusqu'à aujourd'hui.
- 2) Quantifier l'évolution de la superficie des marais de 1934 à 2007.

3) Identifier et décrire le rôle des facteurs environnementaux responsables de l'évolution des caractéristiques paléocéologiques et celle de la superficie des marais.

1.3. Présentation du mémoire

Le mémoire qui suit est présenté sous forme d'un article. Il comporte trois parties. Le chapitre II contient une revue de littérature portant sur la morphogénèse des marais intertidaux ainsi que sur les indicateurs permettant de caractériser les effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux. Le chapitre III présente une description de la zone d'étude. Le chapitre IV comprend l'article scientifique qui reprend, en format approprié, les éléments de l'introduction et du cadre théorique en plus de présenter les résultats et une discussion approfondie. Ce chapitre est suivi d'une conclusion générale. Finalement, les résultats qui ne sont pas intégrés dans l'article sont présentés en annexe.

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE : SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LA DYNAMIQUE DES MARAIS INTERTIDEAUX

2.1. Généralités sur les marais intertidaux

2.1.1. Définition et classification des marais intertidaux

Les marais intertidaux sont généralement localisés dans des milieux protégés de l'action des vagues favorisant l'accumulation de sédiments fins par les courants de marée. Situé dans la zone de balancement de la marée, le marais est colonisé par de la végétation tolérante à la fréquence et à la durée d'inondation, selon le rythme de la marée. La végétation s'établit d'après un gradient d'inondation (figure 1).

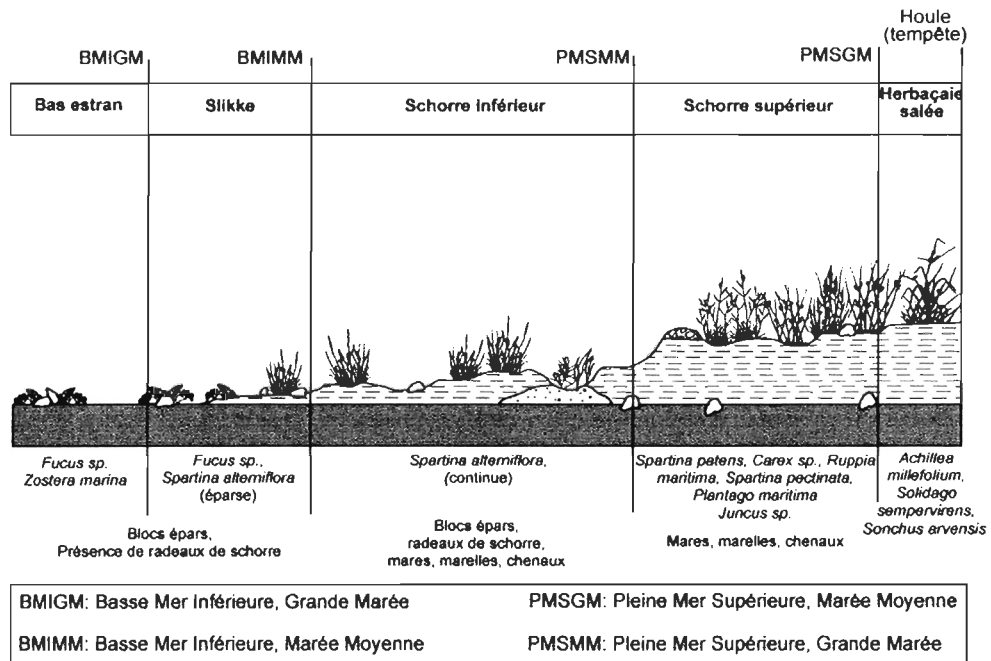


Figure 1. Zonation d'un marais intertidal du Québec maritime, modifiée de Quintin *et al.* (2006).

Le marais est divisé en quatre parties (Couillard et Grondin, 1986; Dionne 2000; Quintin *et al.*, 2006) (figure 1) : 1) la slikke dont les limites inférieures et supérieures correspondent à la basse mer inférieure de grande marée et à la basse mer inférieure de marée moyenne, 2) le schorre inférieur dont la limite supérieure correspond à la pleine mer supérieure de marée moyenne; 3) le schorre supérieur dont la limite supérieure est la pleine mer supérieure de grande marée et 4) l'herbaçaie salée dont la limite supérieure correspond au niveau de la houle de tempêtes. Plusieurs classifications des types de marais existent. Certains les classent selon des caractéristiques géomorphologiques et la morphologie côtière (Stevenson *et al.*, 1986; Allen, 2000). Allen (2000) suggère une classification des marais basée sur la configuration du milieu (figure 2). Les marais se retrouvent dans sept environnements côtiers propices à l'accumulation de sédiments fins : en milieu ouvert, en milieu ouvert derrière une flèche littorale, dans une baie, dans une baie fermée par une flèche littorale, en milieu estuarien, en milieu estuarien avec flèches littorales et dans une côte à ria. Ces sept environnements côtiers se retrouvent le long du Saint-Laurent. Dans la baie des Chaleurs, les marais intertidaux sont situés principalement en milieu ouvert derrière une flèche littorale ou en milieu estuarien avec flèches littorales.

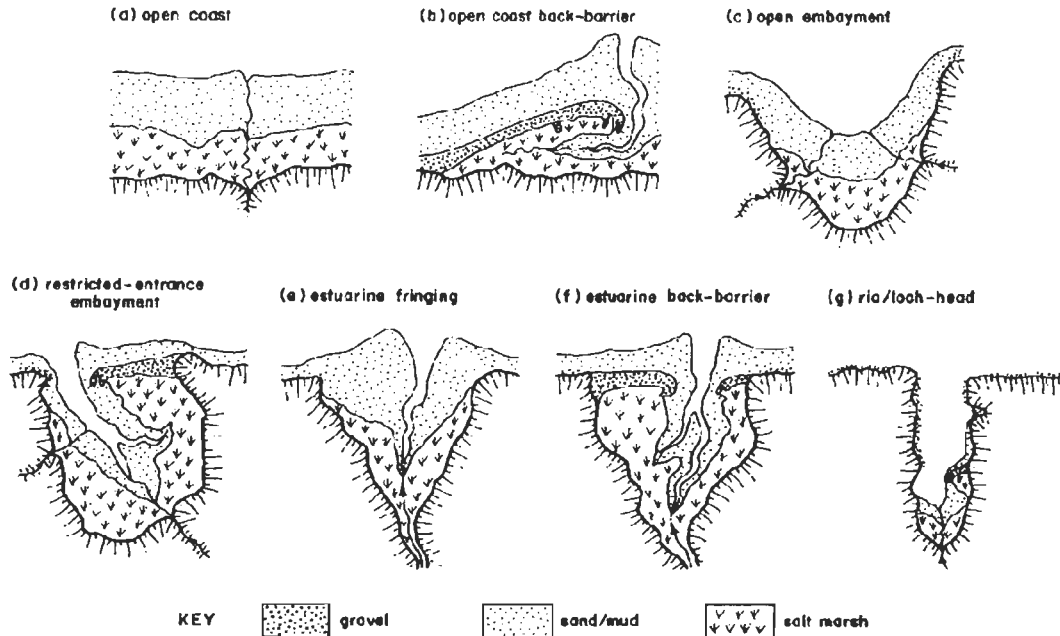
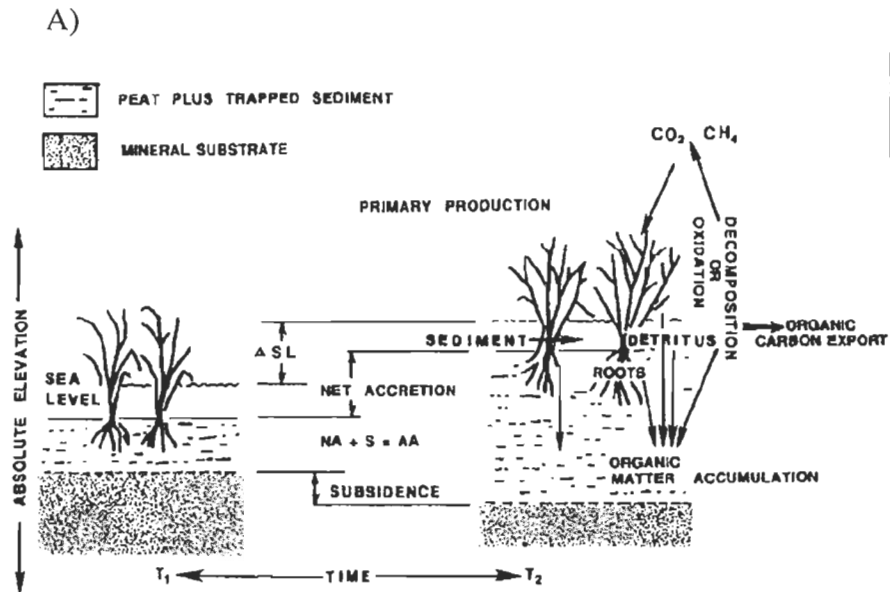


Figure 2. Classification géomorphologique des marais intertidaux, selon Allen (2000).

2.1.2. Écogéomorphologie des marais intertidaux

L'évolution des marais intertidaux est liée directement à la disponibilité de sédiments dans le système et aux conditions hydrodynamiques (Pethick, 1984). Les sédiments proviennent de trois sources : marine (provenant de la plate-forme marine); côtière (provenant des côtes en érosion) et fluviale (provenant des sédiments de l'intérieur des terres et transportés par les rivières). Ces sédiments sont par la suite piégés dans des zones propices à l'accumulation.

Deux composantes doivent être considérées lors d'une étude portant sur l'évolution des marais (Adam, 1990; Van Proosdij *et al.*, 2006) soit : 1) la composante verticale, définie par l'accumulation de matière minérale et organique à la surface du marais (figure 3A) et 2) la composante horizontale, définie par l'extension, la stabilité ou la régression latérale du marais (figure 3B).



B)

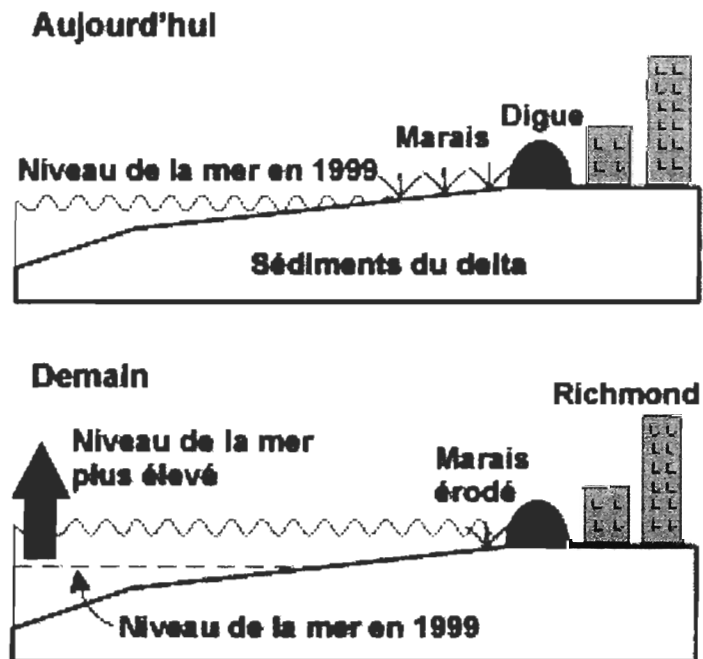


Figure 3. Illustration de la composante verticale (A) et horizontale (B) d'un marais intertidal, modifiée de Verger (2008) et Delaune *et al.* (1990).

Ces deux composantes s'ajustent selon les variations du niveau marin (figure 4) (Chmura *et al.*, 2001). Toutefois, l'accrétion verticale du marais est limitée par l'apport en sédiments et la productivité des plantes. L'accumulation de matière minérale contribue davantage à l'accrétion verticale du marais que l'accumulation de matière organique (Chmura *et al.*, 2001). Elle s'effectue par le dépôt de sédiment apporté principalement par les marées. L'accumulation de la matière organique s'effectue quant à elle par la litière végétale et la contribution *in situ* des racines et des rhizomes. Un apport constant de sédiments permet de maintenir en équilibre l'accrétion verticale du marais par la redistribution des sédiments par les chenaux et les glaces ainsi que la production de matière organique. Dans ce cas, la composante horizontale du marais est stable. Toutefois, si le taux d'accrétion verticale est inférieur au taux de la hausse du niveau marin, il se produit un ajustement latéral. Si l'espace est accessible, le marais migre vers les terres. Dans le cas de contraintes naturelles ou anthropiques à l'expansion vers l'intérieur des terres, le marais s'érode graduellement pour finalement disparaître.

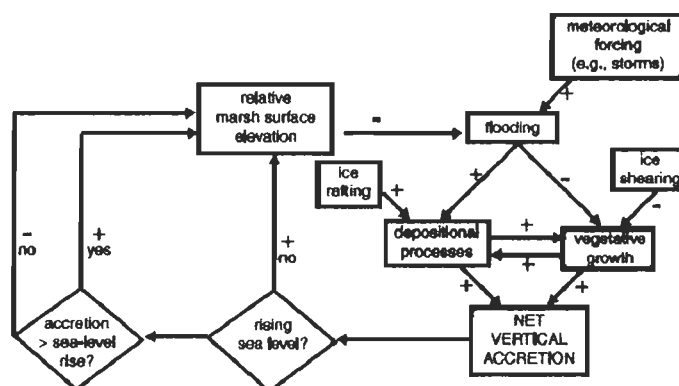


Figure 4. Facteurs contrôlant l'accrétion verticale d'un marais salé, selon Chmura *et al.* (2001).

Les marées, les vagues et la formation de la glace en hiver sont les principaux agents de la dynamique sédimentaire des marais intertidaux du Saint-Laurent (Drapeau, 1992; Dionne, 1986; 2000). En effet, la présence de la glace de décembre à avril joue un rôle très important dans l'estuaire du Saint-Laurent (Dionne, 1989). Elle transporte des sédiments de toutes tailles, des argiles jusqu'aux blocs, elle érode le schorre et la slikke, mais elle protège aussi le littoral de l'action des vagues (Dionne, 1985; 1989). La croissance des schorres est sous la dépendance de la végétation, ce qui rend ces derniers plus vulnérables à l'érosion à mesure qu'ils progressent en deçà du profil d'équilibre hydrodynamique (Drapeau, 1992).

Les marais sont des systèmes complexes où interagissent plusieurs variables liant étroitement la géomorphologie et la végétation (figure 5). La figure 5 illustre les nombreux processus hydrodynamiques en interaction qui conditionnent la dynamique du couvert végétal. La densité et la forme du tapis végétal contribuent au bilan sédimentaire par l'accroissement vertical des marais à partir de la sédimentation, de la production de matière organique et de la consolidation des dépôts (Quintin *et al.*, 2006).

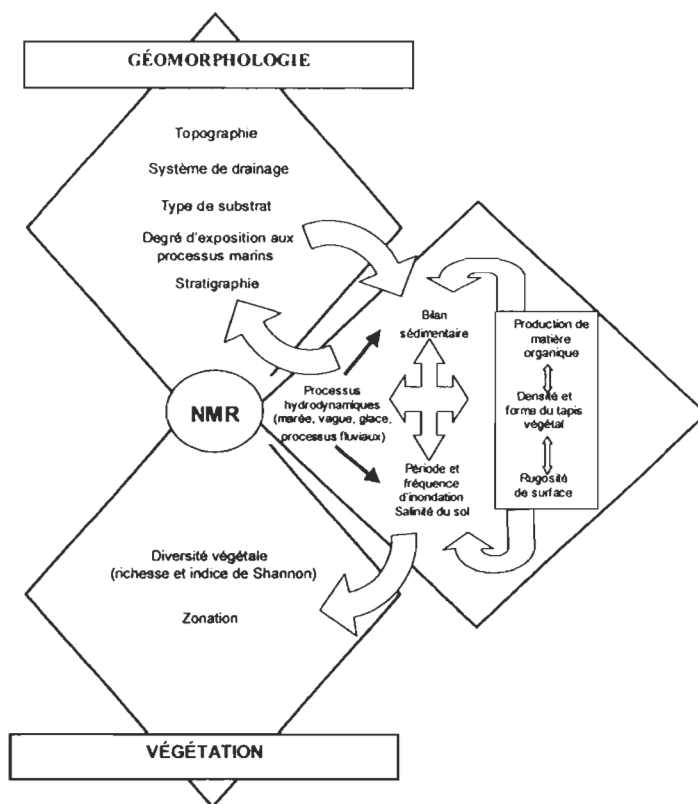


Figure 5. Schéma conceptuel sur les interactions complexes entre la végétation et la géomorphologie des marais intertidaux, selon Quintin *et al.* (2006).

Les changements environnementaux jouent un rôle important dans l'évolution des marais intertidaux (Allen, 2000). Ainsi, des changements dans la fréquence et l'intensité des tempêtes, (Reed, 1989; Van Proosdij *et al.*, 2006), dans le niveau marin (Stevenson *et al.*, 1986; Craft *et al.*, 1993; Simas *et al.*, 2001; Van Proosdij *et al.*, 2006) mais également dans les activités anthropiques (Dionne, 1985; Orson *et al.*, 1985; Ward *et al.*, 1998) régissent de façon directe ou indirecte l'évolution des marais intertidaux.

2.2. Relation entre les facteurs environnementaux et l'écogéomorphologie des marais intertidaux

2.2.1. Facteurs naturels

Les vagues de tempêtes

Selon plusieurs études, les événements météorologiques extrêmes jouent un rôle important dans le bilan sédimentaire des marais. Roman *et al.* (1997) suggèrent que les tempêtes constituent à court terme le facteur dominant de la dynamique verticale des marais. Ces événements compensent le déficit sédimentaire entre les tempêtes ou lorsque le taux d'accrétion est inférieur à la hausse du niveau marin. Les taux d'accrétion des marais situés en régime microtidal sont bien souvent très faibles ou inférieurs à la hausse du niveau marin (Stevenson *et al.*, 1986). Dans ces milieux, les tempêtes peuvent jouer un rôle sédimentaire positif dans l'accrétion des marais (Reed, 1989). Le maximum de sédimentation enregistré sur le marais serait associé aux forts vents et aux basses pressions qui engendrent des vagues de forte énergie (Reed, 1989). Ces dernières influencent le niveau de l'eau et les fluctuations habituelles en régime microtidal causant ainsi des submersions non prédictibles. De plus, elles augmentent le taux de submersion du marais et mobilisent les sédiments qui se trouvent dans la baie.

Les marais abrités par des flèches littorales sont particuliers, car ils dépendent de l'évolution de ces dernières (Morissette, 2007). Les tempêtes changent la configuration des flèches et cordons littoraux, forment des trouées et engendrent une migration des cordons littoraux vers les terres exposant ainsi les marais aux processus littoraux. La migration des cordons littoraux vers les terres, lors des tempêtes, entraîne un déplacement, un

enfouissement et, éventuellement, une érosion des marais situés derrière eux (Stevenson *et al.*, 1986). De plus, on observe bien souvent sur la surface des marais des lobes composés de matériaux grossiers (sable, graviers, galets), formés par des tempêtes (Dionne, 1986). En effet, lors des tempêtes, les vagues transportent par charriage des matériaux plus grossiers que durant des courants de marée normale où les sédiments demeurent en suspension (Drapeau, 1992). Les lobes de tempête composés de matière minérale et organique enfouissent la végétation, cette dernière meurt et rend le milieu plus vulnérable aux processus littoraux.

Les crues

Les marais situés à l'embouchure de rivières sont influencés par la dynamique fluviale. Les crues printanières, mais également les crues causées par de fortes précipitations, influencent leur bilan sédimentaire. Durant ces événements, les rivières transportent une grande quantité de sédiments en suspension qui se dépose, en partie, sur la surface du marais inondé. Les crues construisent également des lobes de débordement sur les berges proximales des chenaux (Quintin *et al.*, 2006). Composés de matériaux grossiers, ces derniers contribuent à enfouir la végétation. Des bancs d'accumulation peuvent également se former à l'embouchure des rivières et être colonisés par de la végétation, contribuant ainsi à l'extension du marais. L'érosion latérale engendrée par la migration des chenaux contribue aussi à dynamiser les phases d'érosion et de sédimentation des marais (Pringle, 1995).

Les variations du niveau marin relatif

Un des facteurs les plus importants influençant l'évolution des marais intertidaux à long terme est la variation du niveau marin relatif (Allen, 1990; Orson *et al.*, 1998). Une augmentation ou une diminution dans la fréquence et la durée de submersion engendre des changements dans la structure de la végétation (Roman *et al.*, 1997; Simas *et al.*, 2001), le système de drainage (Ward *et al.*, 1998) et le bilan sédimentaire (Stevenson *et al.*, 1986; Craft *et al.*, 1993; Ward *et al.*, 1998; Simas *et al.*, 2001; Temmerman *et al.*, 2004). En Amérique du Nord, la plupart des études portant sur la réponse des marais à la hausse du niveau marin ont été réalisées sur la côte Atlantique. Elles révèlent que la résistance des marais à la remontée du niveau marin est causée par la disponibilité de sédiments qui favorisent l'accumulation verticale du marais (Orson *et al.*, 1985). De plus, le régime marégraphique joue un rôle important dans l'équilibre sédimentaire des marais. En effet, Stevenson *et al.* (1986) ont montré que les marais influencés par un régime microtidal sont plus sensibles à une hausse du niveau marin que ceux situés en régime méso et macrotidal.

L'activité glacielle

L'effet des glaces est un élément prépondérant de l'évolution des marais intertidaux localisés le long du Saint-Laurent. Malgré le fait que les marais ne sont couverts de glace que quelques mois par année, celle-ci influence de manière significative la morphogenèse et la sédimentologie des marais. La glace peut éroder la surface du marais, transporter des sédiments de toutes tailles (des argiles jusqu'aux blocs) pour ensuite les déposer lorsqu'elle fond sur place (Dionne, 1969; 1972; 1984; 1985; 1989; Troude et Sérodes, 1988; Drapeau,

1992). L'activité glacielle contribue donc autant à la sédimentation qu'à l'érosion des marais. L'action des glaces se révèle complexe et varie considérablement selon les milieux (Fournier *et al.*, 1987). Les glaces contribuent notamment à la formation de marelles dans le marais par plusieurs mouvements possibles, qu'il s'agisse de soulèvement, de poussée, de raclage ou d'effondrement (figure 6).

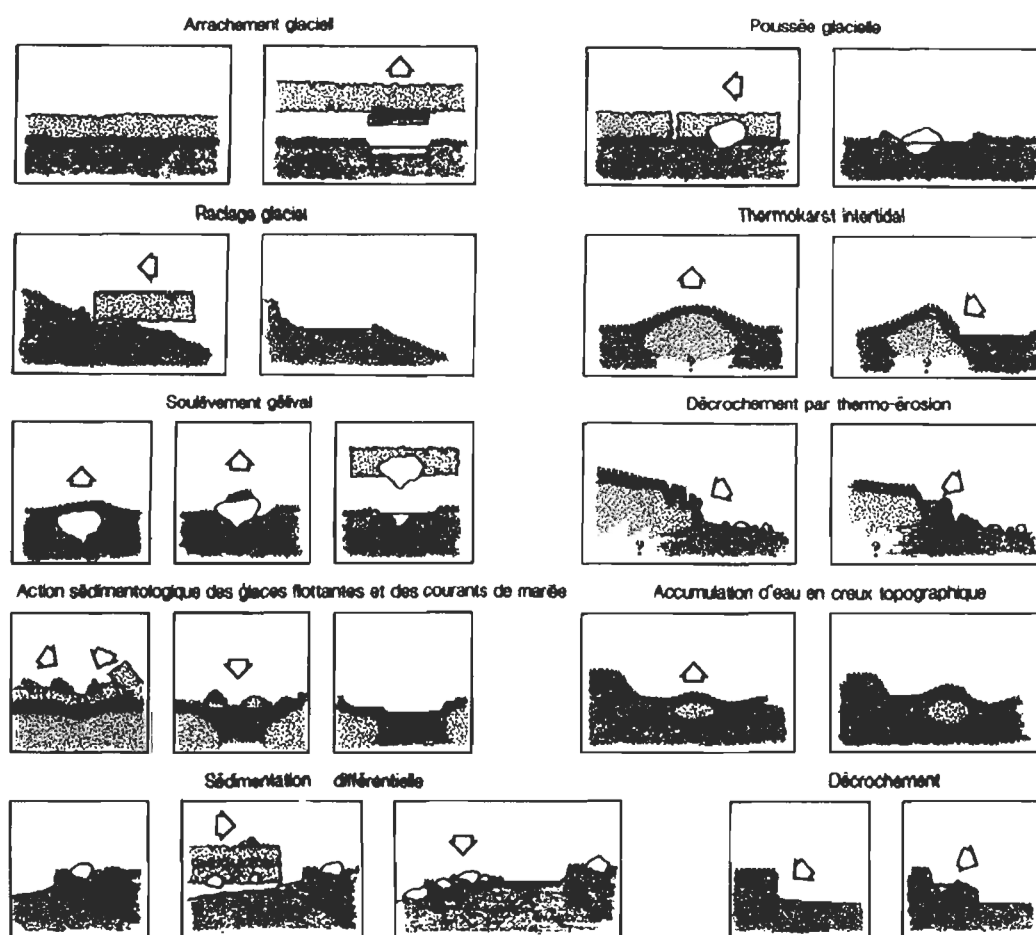


Figure 6. Représentation schématique des processus glaciels à l'origine des marelles, selon Fournier *et al.*, (1987).

L'activité glacielle joue également un rôle protecteur en atténuant l'énergie des vagues de tempête (Hanson, 2006). La superficie du couvert de glace et la durée de la

saison glacielle sont à la baisse dans le golfe du Saint-Laurent (Hanson, 2006; Savard *et al.*, 2008) et cette tendance accélère l'érosion causée par les vagues (Hanson, 2006; Bernatchez et Dubois, 2004; Bernatchez *et al.*, 2008).

2.2.2. Facteurs anthropiques

Les coupes forestières, l'agriculture et l'établissement d'infrastructures urbaines et de défenses côtières influencent aussi grandement l'évolution à court et à long terme des marais. Les coupes forestières augmentent l'apport en sédiments provenant des rivières dans les bassins versants (Orson *et al.*, 1985; Ward *et al.*, 1998). Dans le bassin versant de Chesapeake Bay, les épisodes de forts taux d'accumulation de sédiments dans les marais coïncident avec les périodes d'activités forestières et agricoles intenses où d'importantes coupes forestières ont été réalisées (Brush, 1989). Ces sédiments peuvent être néfastes pour les marais lorsqu'il y a présence d'éléments géochimiques nocifs (De Lacerda, 1994). Bien souvent, l'établissement de terres agricoles, d'industries et d'infrastructures urbaines succède aux coupes forestières. Le taux de phosphore, de nitrates et de métaux lourds (Pb, Cu, Zn, Mn) peut alors augmenter dans les sédiments du marais provenant des rivières (De Lacerda, 1994). Les marais jouent un rôle de filtre grâce à l'absorption de contaminants par les plantes. En revanche, une forte concentration de contaminants contribue à leur dégradation (Adam, 2002). La récupération de la partie supérieure des marais à des fins agricoles, pour l'élevage et le pâturage du bétail ainsi que pour des infrastructures urbaines entraîne aussi une perte directe d'habitats (Ward *et al.*, 1998). Finalement, l'implantation

d'infrastructures de défense contre les agents marins change la dynamique des courants et diminue l'apport en sédiments des marais provenant de l'érosion des côtes (Adam, 2002).

2.3. Indicateurs permettant l'identification des facteurs environnementaux influençant l'écogéomorphologie des marais

Le tableau 1 montre la panoplie d'indicateurs utilisés dans l'étude de l'évolution des marais intertidaux selon différentes échelles de temps. Les indicateurs paléoenvironnementaux témoignent des modifications environnementales enregistrées dans les dépôts par des études sédimentaires et l'analyse de restes d'animaux et de végétaux conservés dans les sédiments sur plus de 100 ans. Les indicateurs historiques et actuels font référence à une cartographie historique de la structure du paysage et des limites des unités paysagères ainsi qu'à des taux d'accrétion pour les 100 dernières années. L'interprétation ainsi que la chronologie de ces indicateurs procurent un cadre valable pour la compréhension des facteurs environnementaux responsables de l'évolution écogéomorphologique des marais intertidaux.

Tableau 1. Inventaire des techniques, méthodes et indicateurs utilisés dans l'étude de l'évolution des marais intertidaux selon l'échelle de temps.

<i>Échelle de temps</i>	<i>Technique</i>	<i>Méthode</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Auteur</i>
Paléo environnemental (> 100 ans)	Carottage ou Tranchée	Radionucléides (^{14}C)	Taux d'accrétion	Garneau, 1998; Plante, 2005; Chmura <i>et al.</i> , 2001; Temmerman <i>et al.</i> , 2004; Stevensen <i>et al.</i> , 1986; Roman <i>et al.</i> , 1997; Dionne, 2004
		Analyse pollinique et des macrorestes végétaux et animaux	Composition animale et végétale (nombre et type d'espèce)	Garneau, 1998; Plante, 2005; Ward <i>et al.</i> , 1998; Temmerman <i>et al.</i> , 2004; Chmura <i>et al.</i> , 2001
		Analyses stratigraphique et granulométrique et contenus en matière organique	Type de dépôt, Contenu en % de la matière organique et minérale Type de matériel minéral	Garneau, 1998; Plante, 2005; Allen, 1997; Ward <i>et al.</i> , 1998; Roman <i>et al.</i> , 1997; Dionne, 2004
Historique (< 100 ans)	Carottage ou Tranchée	Radionucléides (^{137}Cs , ^{210}Pb)	Taux d'accrétion	Garneau, 1998; Plante, 2005
	Système d'information géographique (SIG) et photo interprétation	Cartographie surfacique multidate	Surface occupée par le marais et surface de l'occupation du sol Structure du paysage (ex. fragmentation, densité de bordure, ratio périmètre-aire)	Simas <i>et al.</i> , 2001; Guzman, 2003
		Cartographie linéaire multidate	Taux de déplacement	Morissette, 2007; Dionne, 1986; Moran, 2003; Thieler <i>et al.</i> , 2003
Actuel (<10 ans)	Piquet ou ligne repère	Mesure ponctuelle sur le terrain	Taux de déplacement	Bernatchez et Dubois, 2004; Van Proosdij <i>et al.</i> , 2006; Dionne, 1986
	Plaque à sédiments et horizon repère	Mesure ponctuelle sur le terrain	Taux d'accrétion	Stevensen <i>et al.</i> , 1986; Roman <i>et al.</i> , 1997; Chmura <i>et al.</i> , 2001
	Trappe à sédiments	Mesure ponctuelle sur le terrain	Taux d'accrétion	Van Proosdij <i>et al.</i> , 2006
	Table à sédimentation et érosion (SET)	Mesure ponctuelle sur le terrain	Taux d'accrétion	Van Proosdij <i>et al.</i> , 2006;
	Courantomètre OBS	Mesure continue sur le terrain	Vitesse du courant, concentration des sédiments en suspension	Van Proosdij <i>et al.</i> , 2006

2.3.1. Indicateurs paléoenvironnementaux

Les indicateurs paléoenvironnementaux proviennent de fossiles de plantes, d'animaux ou de la composition des sédiments (Brush, 2001).

Séquences végétales et animales

L'étude de la composition végétale et animale retrouvée au sein d'une séquence sédimentaire permet de reconstituer les conditions paléoenvironnementales existantes au moment du dépôt. Plusieurs études indiquent que l'analyse de macrorestes végétaux peut révéler des changements hydrologiques du milieu (tableau 1). En effet, les marais intertidaux sont colonisés par des assemblages d'espèces adaptées aux diverses conditions d'inondation. Ainsi certaines espèces sont indicatrices d'un milieu submergé quotidiennement par la marée telle que la spartine alterniflore (*Spartina alterniflora*), ou alors que d'autres sont indicatrices de niveaux de pleines mers supérieures de grande marée, telles que le jonc de Gérard (*Juncus gerardii*) ou la spartine étalée (*Spartina patens*). Un changement dans les conditions hydrologiques du milieu modifie la composition de la végétation. En effet, le passage graduel d'un environnement dominé par la spartine alterniflore à un environnement dominé par le jonc de Gérard, signifie une baisse dans la fréquence et la durée de submersion. Une étude réalisée dans le marais de L'Isle-aux-Grues révèle que les interventions humaines ont contribué à changer le régime hydrologique du milieu (Plante, 2005). La construction de canaux de drainage à des fins agricoles vers 1869 a engendré un changement dans la végétation, passant d'une végétation peu diversifiée de schorre inférieur à une végétation plus diversifiée de schorre supérieur (figure 7). À plus

(Allen, 2000). À l'intérieur d'une séquence sédimentaire composée de sédiments fins, une unité de sable marin plus ou moins grossier, contenant parfois des coquilles, peut marquer une tendance positive du niveau marin et ou d'un événement de dynamique intense (Allen, 2000). De plus, une unité organique à l'intérieur d'une séquence sédimentaire minérale est l'indice d'une régression marine et, à l'inverse, une unité de matière minérale telle que l'argile marine dans une séquence sédimentaire composée essentiellement de matière organique est l'indice de conditions plus aquatiques (Allen, 2000). Ces signatures sédimentaires sont de bons indicateurs pour identifier les effets des changements environnementaux dans les marais. Roman *et al.* (1987) révèlent que les tempêtes jouent un rôle positif dans l'accrétion verticale des marais en régime microtidal. En effet, la proportion du contenu de la matière minérale et organique ainsi que les classes granulométriques changent à la suite des tempêtes. Les tempêtes engendrent des vagues qui contribuent à l'accumulation de matériaux plus grossiers sur la surface du marais. La proportion de la matière minérale augmente comparativement à celle de la matière organique. À l'intérieur d'une séquence sédimentaire, la présence d'un dépôt d'argile marine au dessus d'un dépôt organique de marais est généralement considérée comme l'indice d'une tendance transgressive des eaux et elle est souvent exprimée sous la forme d'une surface d'érosion (Allen, 2000). Inversement, la transition silt (faciès de slikke) vers un dépôt organique (faciès de schorre) dans une séquence sédimentaire marque une tendance régressive des eaux (figure 8) (Dionne, 2004).

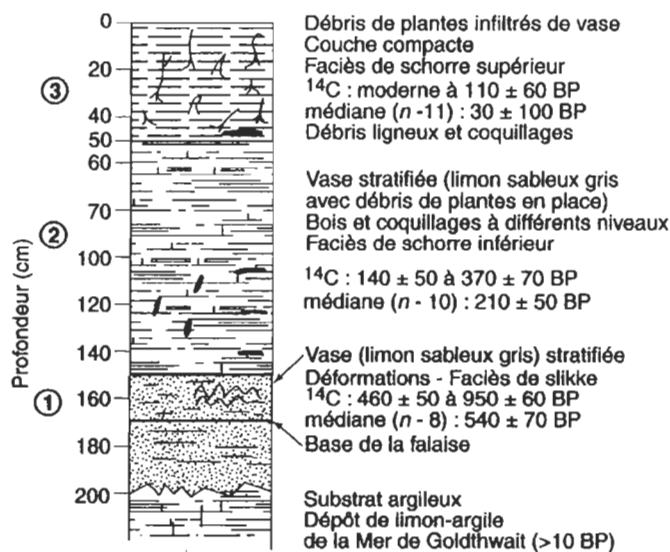


Figure 8. Stratigraphie d'un dépôt constituant un schorre supérieur à Montmagny montrant trois faciès : 1. faciès de slikke ; 2. faciès de schorre inférieur ; et 3. faciès de schorre supérieur, révélant une régression marine des eaux, selon Dionne (2004).

Les analyses sédimentaires peuvent aussi indiquer la présence de chenalizations, de mares et marelles. Les chenaux jouent un rôle majeur dans l'évolution des marais, car ils assurent le drainage et la redistribution des sédiments ainsi que des nutriments (Allen, 2000). L'ajustement des chenaux, c'est-à-dire l'expansion ou la contraction du système de drainage, signifie une transgression ou une régression marine (Allen, 2000). Quant aux mares et marelles, leur formation provient de processus glaciels (Dionne, 1989) ou non glaciels (Gauthier et Goudreau, 1983).

Lorsque les marais sont localisés à l'embouchure de rivières, les études sédimentologiques ne peuvent identifier à elles seules la provenance des sédiments formant le dépôt (marin ou fluvial). Dans ce cas-ci, le dépôt peut être mis en place par une tempête provenant de la mer ou par des crues. Des analyses minéralogiques peuvent être utilisées

afin de déterminer la provenance du matériel. Dans ce cas, il faut identifier la géologie de la zone fluviale (bassin versant) et celle de la zone marine (littorale et plate-forme marine). Si la géologie est différente entre les deux zones d'apport en sédiments, il sera possible de distinguer si l'accumulation provient d'une source marine ou fluviale. Finalement, des analyses d'éléments lourds peuvent également être réalisées afin d'identifier la provenance du matériel. Dans le cas où des industries sont établies dans le bassin versant, la présence de sédiments allochtones est signe d'un apport plutôt continental que marin.

2.3.2. Indicateurs historiques et actuels

Déplacement des limites du marais

La cartographie historique des marais s'effectue de façon surfacique ou linéaire (Moran, 2003). De façon linéaire, plusieurs indicateurs peuvent être utilisés : 1) la limite du niveau des basses mers inférieures de marées moyennes; 2) la limite des pleines mers supérieures de marées moyennes et 3) la limite des pleines mers supérieures de grandes marées (Morissette, 2007; Hanson, 2006). La limite des pleines mers supérieures de marées moyennes est le niveau le plus utilisé. Elle correspond à la limite entre le schorre inférieur et le schorre supérieur exprimée par des groupements végétaux distincts. La végétation du schorre inférieur est peu diversifiée et dominée par la spartine alterniflore, accompagnée par la salicorne d'Europe (*Salicornia europaea*). La végétation du schorre supérieur est plus diversifiée et dominée par la combinaison de spartine étalée, de plantain maritime (*Plantago maritima*), de carex écailleux (*Carex paleacea*), de jonc de Gérard. Sur les photographies aériennes, le schorre inférieur est de teinte plutôt claire, comparativement au

schorre supérieur qui apparaît en teinte plus foncée. De plus, lorsque le marais est en érosion, la transition entre ces deux formations végétales est définie par une microfalaise.

La méthode classique pour calculer le déplacement du marais est celle du transect perpendiculaire (Moran, 2003). Toutefois, le calcul du déplacement basé sur la méthode du transect perpendiculaire est influencé par la configuration du trait de côte (figure 9). En effet, lorsque le trait de côte est irrégulier et que la ligne de référence ne le reflète pas, l'estimation du déplacement basé sur les transects perpendiculaires est biaisée (figure 9A,B). Afin de réduire cette erreur, il est suggéré de faire une ligne de référence à partir d'un trait de côte existant (figure 9C) (Thieler *et al.*, 2003).

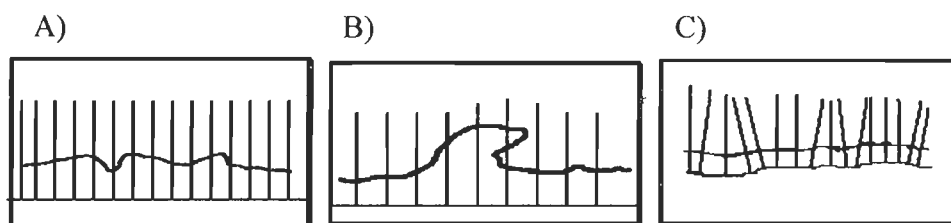


Figure 9. Limite de la méthode par transect perpendiculaire selon une ligne de référence perpendiculaire à un trait de côte linéaire (A), irrégulier (B), et selon une ligne de référence représentative du trait de côte (C), modifiée de Moran (2003).

Structure du paysage

L'approche surfacique est la méthode la plus utilisée pour reconstituer l'évolution historique des marais. Elle permet de quantifier les gains et les pertes et d'identifier les causes attribuables aux changements observés pour une période donnée (Moran, 2003; Hanson, 2006). Par exemple, cette méthode a permis d'estimer une perte de 5 % (15 ha) du marais salé de Shemogue, au Nouveau-Brunswick, et un gain de 18 % (9 ha) d'eau libre

entre 1944 et 2001, changements attribuables à la hausse du niveau de la mer (Hanson, 2006).

L'approche surfacique permet également de quantifier l'évolution de la structure du paysage par le biais d'indicateurs spatiaux selon trois niveaux : 1) le paysage qui inclut, toutes les taches, quelle que soit leur classe; 2) les classes, qui correspondent aux différentes thématiques du paysage (dans notre cas les différents habitats) et 3) les taches, qui sont les différents polygones inclus dans telle ou telle classe (figure 10).

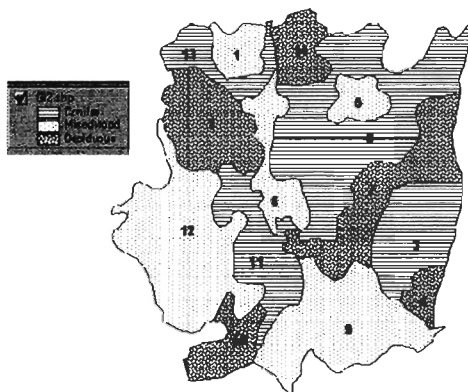


Figure 10. Division du paysage selon trois niveaux. Le paysage inclut 14 taches (polygones) qui est divisé en trois classes, selon McGarigal et Marks (1994).

De nombreux indices sont calculés à l'aide de programmes d'analyses spatiales appliqués à l'écologie du paysage et utilisables au sein d'un SIG. Fragstat (McGarigal et Marks, 1995) et Patch analyst (Elkie *et al.*, 1999) sont parmi les programmes les plus utilisés. Ils caractérisent l'organisation spatiale du paysage à partir de couches SIG sous forme vectorielle ou matricielle. Toutefois, plusieurs des indicateurs générés par ces programmes sont redondants (McGarigal et Marks, 1995). Il est donc primordial de choisir les indicateurs qui correspondent le mieux aux objectifs de la recherche (McGarigal et

Marks, 1995). Les indicateurs sont classés en deux groupes : les indicateurs de composition qui incluent la variété et l'abondance des types de taches dans le paysage et les indicateurs de configuration qui font référence à la distribution physique et aux caractéristiques spatiales des taches dans le paysage (McGarigal et Marks, 1995). Dans l'étude de l'évolution des habitats côtiers, les indicateurs de composition et de configuration les plus utilisés sont ceux de la classe et du paysage. Dans le cas de la classe, les indices sont : la fragmentation, le ratio périmètre-aire, la surface occupée par le marais, le pourcentage de la surface occupée par le marais dans le paysage et la densité de bordure. Au niveau du paysage, seul l'indice de diversité de Shannon (Guzman, 2003; Artigas et Yang 2004; Halls et Kraatz, 2006) est utilisé. Le pourcentage de la surface occupée par le marais dans le paysage est l'indice le plus employé dans les analyses spatio-temporelles. Les données sont présentées à l'aide d'une matrice de transition montrant la direction des changements observés pour une période donnée (Guzman, 2003) (figure 11).

1968 \ 1994	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Mixed urban land	0.542	0.004			0.001									
2. Agricultural	0.054	0.796		0.115				0.087			0.004			
3. Rangeland	0.040	0.145	0.980		0.004		0.026	0.175		0.001	0.003		0.039	
4. Streams		0.002		0.544				0.003		0.004		0.001	0.014	
5. Bays/estuaries	0.034		0.001		0.961	0.150		0.008	0.112	0.010	0.004		0.045	0.004
6. Mangroves					0.004	0.372				0.001	0.004		0.001	
7. Riparian vegetation			0.001			0.017	0.693	0.006					0.007	0.032
8. Mixed barren land	0.283	0.048	0.006	0.132	0.008	0.102	0.280	0.675	0.043		0.026		0.123	0.951
9. Salt mines									0.736					
10. Active sand	0.029			0.061	0.004	0.013		0.004		0.842	0.011	0.043	0.012	
11. Stable sand	0.003	0.005		0.010	0.006	0.036		0.017	0.090	0.090	0.890	0.150	0.030	0.910
12. Dry salt flats												0.634	0.002	
13. Tidal flats	0.009		0.012	0.140	0.012	0.309		0.022	0.019	0.052	0.030	0.162	0.726	0.003
14. Aquaculture														

Figure 11. Matrice de transition montrant la direction des changements observés pour la période de 1968 à 1994, selon Guzman (2003).

Taux d'accrétion

L'estimation des taux d'accrétion des marais et de leurs variations spatio-temporelles constitue une approche à ne pas négliger dans l'étude de la dynamique côtière (Chmura *et al.*, 2001; Dionne, 2004). Plusieurs études révèlent que l'épaisseur de certains dépôts est en relation avec les variations du niveau marin (Orson *et al.*, 1985; Stevenson *et al.*, 1986). Les taux d'accrétion dans les marais peuvent être calculés à partir de la méthode des isotopes radiocatifs du Plomb (^{210}Pb) et du Césium (^{137}Cs), par des mesures prises régulièrement sur le terrain à l'aide d'horizons-repères et par datation au radiocarbone (^{14}C) (Delaune *et al.*, 1990; Cahoon 1995; Ward *et al.*, 1998).

2.3.3. Datations

Une des techniques de datation les plus utilisées dans l'étude des changements environnementaux côtiers est celle de la méthode au radiocarbone (^{14}C). Toutefois, en raison de l'imprécision des résultats obtenus lorsque le matériel à dater est récent (inférieur à 100 ans), l'emploi du Plomb (^{210}Pb) et du Césium (^{137}Cs) est souvent utilisé pour déterminer les taux d'accrétion (Chmura *et al.*, 2001). En contrepartie cette dernière méthode possède également des inconvénients pour les marais intertidaux nordiques. Le remaniement des sédiments par les vagues, les glaces et la bioturbation perturbent le dépôt du marais engendrant un biais dans les résultats obtenus (Bernatchez, comm. pers., 2009). Il est donc important de souligner les limites de leur utilisation dans les reconstitutions paléoenvironnementales.

CHAPITRE III

DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

3.1. Localisation et délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans un système estuarien à flèches littorales, le barchois de la rivière Nouvelle, dans la baie des Chaleurs (figure 12). D'une superficie d'environ 540 ha, le barchois de la rivière Nouvelle est composé de deux marais. Le premier est situé derrière la flèche littorale sud-ouest et le deuxième est situé au fond de la baie, près de l'embouchure de la rivière Nouvelle.

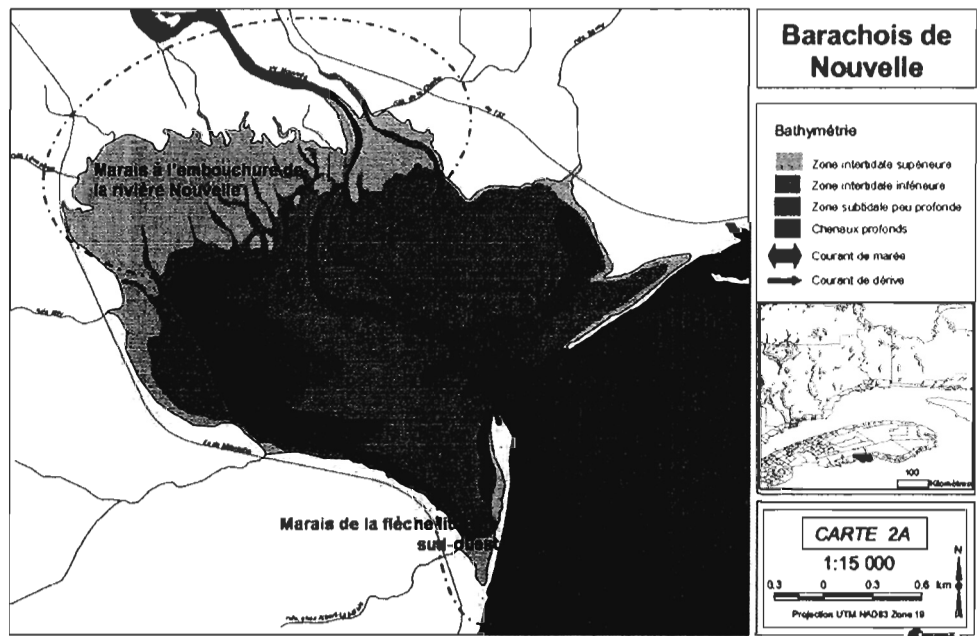


Figure 12. Localisation de la zone d'étude et caractéristiques océanographiques et hydrologiques du barchois de la rivière Nouvelle, modifiée de Gagnon (2002).

3.2. Cadres géologique et géomorphologique

Dans la baie des Chaleurs, les segments de côtes à marais intertidaux et à flèches littorales composent plus de 35% du paysage côtier (Bernatchez et Quintin, 2005). Ces formes sont issues de plusieurs événements survenus dans le passé. Au point de vue géologique, la zone d'étude est située dans la province géologique des Appalaches caractérisée par deux périodes géologiques différentes. Celle du Carbonifère est caractérisée par des grès et des conglomérats de la formation de Bonaventure (Alcock, 1935). Celle du Silurien est caractérisée par des shales, des calcaires fossilifères, des conglomérats et des roches volcaniques de la ceinture de Gaspé (Alcock, 1935).

À l'échelle du Quaternaire, le dernier retrait glaciaire a façonné le paysage actuel par des formes d'érosion et d'accumulation. La baie des Chaleurs est un endroit où la limite de l'extension de l'inlandsis laurentidien reste à confirmer (Lebuis et David, 1977; Pronk *et al.*, 1989; Rappol, 1989; Parkhill et Doiron, 2003; Héту *et al.* 2006). L'un des scénarios est que l'inlandsis laurentidien aurait progressé vers l'ouest de la baie des Chaleurs et le nord-ouest du Nouveau-Brunswick en fusionnant avec des calottes glaciaires locales (Lebuis et David, 1977). L'autre scénario est qu'il aurait atteint une limite située approximativement au centre de la Gaspésie. La baie des Chaleurs aurait alors été occupée par des glaciers locaux venant du sud, du nord et de l'ouest (Lebuis et David, 1977). Les études portant sur les mouvements glaciaires appuient ce dernier scénario (Pronk *et al.*, 1989; Rappol, 1989; Parkhill et Doiron, 2003). Les travaux de Pronk *et al.* (1989) réalisés au nord du Nouveau-

Brunswick révèlent quatre phases de mouvements glaciaires : 1) le premier mouvement, de faible importance, s'est fait vers le sud-est en provenance des Appalaches; 2) le deuxième correspond à un écoulement glaciaire vers l'est; il démontre la force des glaces laurentidiennes dans le nord-ouest du Nouveau-Brunswick; 3) le troisième mouvement glaciaire vers le nord-nord-est pourrait être une réaction à l'affaissement qui s'est produit dans la baie des Chaleurs durant l'ouverture d'une baie de vêlage; 4) le dernier mouvement multidirectionnel s'est fait à partir de calottes localisées pendant les derniers phases de la glaciation wisconsinienne.

La déglaciation a débuté vers 12 650 ans BP favorisant ainsi une hausse du niveau marin relatif jusqu'à 44 m d'altitude dans la région de Nouvelle (Bail, 1983; Hétu *et al.*, 2006). Il existe deux hypothèses décrivant les variations du niveau marin relatif survenues durant l'Holocène (Bail, 1983) (figure 13). Dans les deux cas on note d'abord une régression très rapide entre la déglaciation et 10 000 BP. Selon un premier scénario, le niveau actuel aurait été atteint il y a 7 500 ans environ (8 200 en années calibrées) et par la suite il serait demeuré à peu près stable. Dans le second scénario, le niveau marin relatif serait descendu jusqu'à -90 m environ vers 8 000 ans pour ensuite remonter vers le niveau actuel, atteint il y a 1 000 ans environ (Syvitski, 1992). Cette dernière hypothèse se rapproche de celle décrite dans les provinces maritimes. En effet, la courbe des variations du niveau marin relatif réalisée au Nouveau-Brunswick révèle également une période

régressive très rapide allant sous le niveau actuel où le niveau marin s'est abaissé jusqu'à une profondeur de 30 à 45 m par rapport au niveau actuel vers 6 000 – 7 000 ans BP, période suivie d'une transgression marine lente jusqu'à nos jours (Scott et Greenberg, 1983).

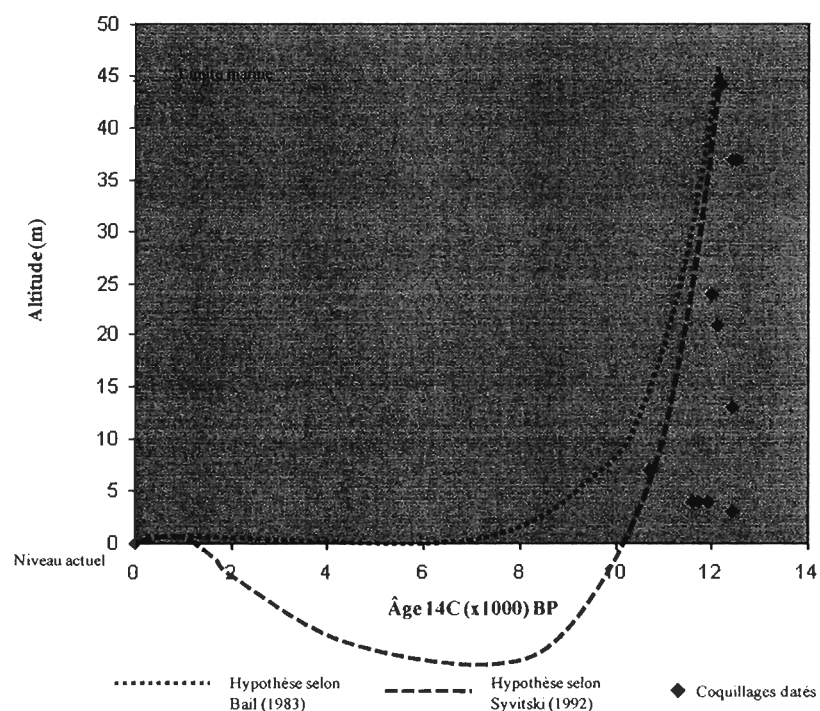


Figure 13. Courbe de la variation du niveau marin relatif dans la région de la baie des Chaleurs, modifiée de Bail (1983).

Depuis deux décennies, les rives de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent sont soumises à d'importants processus d'érosion (Bernatchez et Dubois, 2004). Dans la baie des Chaleurs, des études ont été réalisées dans le secteur de Paspébiac. Des taux d'érosion

moyens variant de 1,56 m/an à 4,16 m/an ont été enregistrés dans une microfalaise de dépôt meuble (Renaud, 2000). Dans le secteur de Maria, le recul de la côte a atteint 50 m depuis 1934 (Bernatchez *et al.*, 2008). Cette érosion serait, en partie, attribuable à une remontée du niveau marin (Dionne, 1986; Bernatchez et Dubois 2004). Entre 1964 et 2003 les données marégraphiques de la station de Belledune au Nouveau-Brunswick, indiquent une hausse du niveau marin de 1,41 mm/an (Koohzare *et al.*, 2006). Ce taux correspond à la hausse moyenne du niveau de la mer de 1 à 2 mm/an mesurée depuis un siècle à l'échelle planétaire (Gornitz, 1995). L'érosion est également attribuable à des événements ponctuels tels que les tempêtes (Bernatchez et Dubois, 2004). Sept événements de tempête susceptibles d'avoir eu un effet sur la dynamique récente des marais du barchois de la rivière Nouvelle ont été répertoriés entre 2000 et 2006 à la station de Belledune au Nouveau-Brunswick (Bernatchez *et al.*, 2008) (tableau 2). Pour les années antérieures à 2000, aucune étude n'a été réalisée.

Tableau 2. Événements ayant enregistré un niveau d'eau supérieur à 3 m entre 2000 et 2006 de la station marégraphique de Belledune au Nouveau-Brunswick, selon Bernatchez *et al.* (2008).

Belledune	2145	TU		Niveau	Surcote
Jour	Mois	Année	Heure	(m)	(m)
21	1	2000	20:00:00	3,64	1
12	12	2000	20:00:00	3,40	0.8
6	2	2001	18:00:00	3,23	0.9
11	12	2004	19:00:00	3,13	0.2
29	4	2005	11:00:00	3,01	0.6
2	12	2005	20:00:00	3,18	0.5
2	12	2006	17:00:00	3,01	0.6

3.3. Cadre hydrosédimentaire

Régimes océanographique et hydrologique

Le barachois de la rivière Nouvelle est soumis à une marée semi-diurne de régime microtidal à mésotidal comportant un marnage moyen de 1,9 m et de 2,7 m lors des grandes marées (Service hydrographique du Canada, 2006). La salinité des eaux avoisinantes du marais de la baie est de 27,0 o/oo (Environnement Canada, 2006b) mais elle peut varier selon le débit de la rivière Nouvelle. Prenant sa source dans les monts Chics Chocs à plus de 600 m d'altitude, la rivière Nouvelle draine un bassin versant d'une superficie de 1 195 km² (Pesca, 1995) avec un débit moyen de 26,3 m³/s (Direction du régime hydrique, MENVQ, cité dans Tremblay, 2002) pouvant atteindre un débit moyen de 110 m³/s lors des crues (Pesca, 1995). Le chenal principal s'étend sur 80 km de son origine jusqu'à son embouchure et coule selon un axe nord-ouest/sud-est. La Petite rivière Nouvelle et le ruisseau Mann sont les deux affluents les plus importants de la rivière Nouvelle et ils drainent respectivement une superficie de 280 et de 248 km².

Source sédimentaire

La rivière Nouvelle s'incise dans un delta fluvio-glaciaire. Elle se jette dans une vaste baie peu profonde de forme ellipsoïde (figure 12). L'embouchure de l'estuaire forme une vaste zone de sédimentation. Les sédiments proviennent de trois sources, soient : 1) de la rivière; 2) de la plate-forme littorale de la baie des Chaleurs et 3) de l'érosion des côtes à proximité apportée par la dérive littorale (Dubois, 1984). La configuration de la baie permet

la rencontre entre le courant de la rivière, celui de la marée et la convergence de ces deux courants de dérive littorale engendrent le délestage préférentiel des sédiments (Dubois, 1984) (figure 12). Selon Pesca (1995), au printemps lors des marées de vives-eaux combinées à des crues et, lors des marées moyennes d'été, les vitesses d'entrée de l'eau à l'ouverture de la baie sont plus grandes que les vitesses d'écoulement de la rivière Nouvelle. Ainsi, on observe un dépôt net de sédiments fins de 0,6 cm à la sortie de la rivière Nouvelle et ce, à chaque cycle de marées en période de crue, provoquant un remplissage graduel de l'ensemble du bassin (Pesca, 1995).

3.4. Cadre écogéomorphologique

Le barachois de la rivière Nouvelle compte parmi les plus vastes complexes de terres humides en Gaspésie (Tremblay, 2002). Le secteur est caractérisé par deux marais intertidaux, de marécages d'eau douce, d'herbiers de zostère, de chenaux de marée, d'une rivière ainsi que de sept autres cours d'eau mineurs, et de deux flèches littorales. Les deux marais intertidaux sont composés d'un schorre inférieur étroit à spartine alterniflore, d'un vaste schorre supérieur à spartine étalée en association avec le jonc de gérard, le jonc de la baltique (*Juncus balticus*) et le carex écaillé ainsi que d'une herbaçaille salée dominée entre autres par la spartine pectinée, la verge d'or toujours verte (*Solidago sempervirens*), l'achillée millefeuille (*Achillea millefolium*) et le laiteron des champs (*Sonchus arvensis*).

Le marais de la baie couvre une superficie de 307 ha. Il est caractérisé par la présence de nombreux chenaux de marée. Le marais de la flèche littorale sud-ouest couvre une superficie 70 ha alors que la flèche littorale atteint 1 km de longueur. Ce marais est caractérisé par de nombreuses mares et marelles colonisées par les espèces aquatiques *zanichella palustre* (*Zanichellia palustris*) et ruppie maritime (*Ruppia maritima*). De nombreux lobes de tempête composés de matériaux grossiers sont également présents au contact de la flèche littorale et du marais.

3.5. Utilisation du territoire par l'homme

Le barachois de la rivière Nouvelle a subi l'influence des activités forestières et agricoles intenses. Selon Tremblay (2002), des portions de marécage et de marais ont été drainées et converties en terres agricoles avec reprofilage d'écoulement des chenaux dans les secteurs cultivés. Le territoire du bassin versant de la rivière Nouvelle a été le lieu d'activités forestières à compter des années 1930. C'est durant ces années que l'industrie du sciage s'installe à l'embouchure de la rivière Nouvelle, comme ailleurs dans la baie des Chaleurs (figure 14) (Côté, 2008).

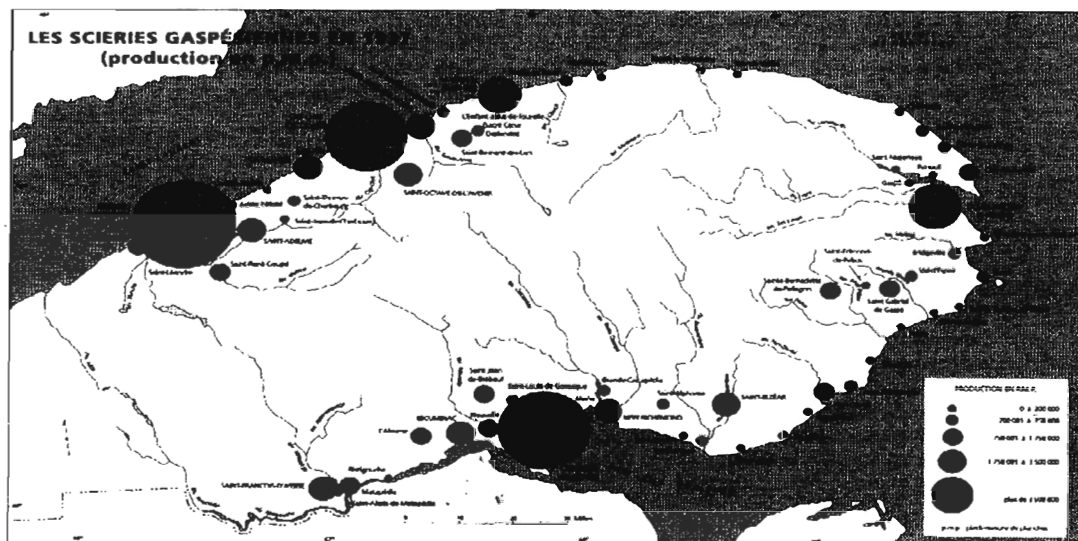


Figure 14. Production de bois (en p.m.p) des scieries gaspésiennes en 1937, selon le ministère des Terres et des Forêts, 1950, source Côté (2008).

En 1950, un peu plus de 6 millions de pieds cubes de bois sont coupés à l'intérieur du bassin versant de la rivière Nouvelle, soit un peu plus de 1 % du volume de la province (Côté, 2008). En 1959, le volume de bois coupé atteint son maximum : plus de 11 millions de pieds cubes (tableau 3). Entre 1935 et 1968, la compagnie a dravé plus d'un million de cordes de bois. Le flottage du bois sur la rivière Nouvelle s'est effectué jusqu'en 1974 (Pesca, 1995). Le réseau d'estacades servant à retenir les billots de bois à l'embouchure de la rivière est encore présent, tout comme des billots de bois à la base du dépôt du marais (figure 15).

Tableau 3. Volume (pieds cubes) de bois coupé dans le bassin versant de la rivière Nouvelle et dans la province entre 1947-1963 selon le document de la cession du Québec.

<i>Année</i>	<i>Bassin</i>	<i>Province</i>
1947	7 092 777	552 472 752
1948	5 618 787	538 434 729
1949	6 057 475	480 484 166
1950	6 031 546	367 983 338
1951	10 381 589	559 073 145
1952	10 123 396	621 235 398
1953	6 724 047	491 413 765
1954	6 442 960	481 817 409
1955	6 843 255	521 920 681
1956	8 207 747	637 609 330
1957	10 907 747	660 393 107
1958	9 978 130	476 520 407
1959	11 745 979	496 965 828
1960	9 789 266	547 296 120
1961	8 832 732	548 815 483
1962	7 764 149	552 974 912
1963	6 263 957	557 850 340

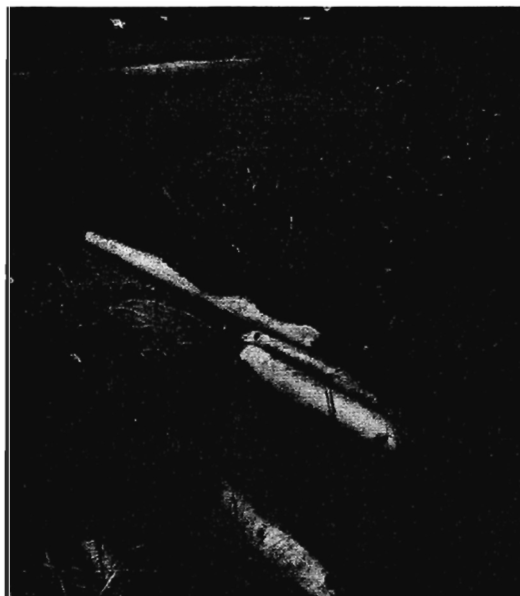


Figure 15. Billots de bois sous le dépôt du marais, été 2006.

CHAPITRE IV

**EFFETS DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX DANS L'ÉVOLUTION DE
DEUX MARAIS INTERTIDAUX DU BARACHOIS DE LA RIVIÈRE NOUVELLE,
BAIE DES CHALEURS, QUÉBEC¹**

Chantal Quintin^{2,3}, Pascal Bernatchez^{2,3,4}, Thomas Buffin-Bélanger^{2,3} et Luc Sirois²

¹ Ce manuscrit sera traduit et soumis dans une revue scientifique

² Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski, 300, allée des Ursulines, Rimouski, Québec, G5L 3A1, Canada.

³ Centre d'études nordiques

⁴ Chaire de recherche en géoscience côtière

RÉSUMÉ

Les marais intertidaux font partie des habitats les plus sensibles aux changements environnementaux tels que les activités forestières et agricoles, la hausse du niveau marin, les vagues de tempête et les processus glaciels. Les données concernant les causes et les effets précis de ces changements sur l'évolution des marais intertidaux sont rares et plus particulièrement dans la baie des Chaleurs. Afin d'évaluer le rôle des facteurs environnementaux qui ont influencé la dynamique des marais intertidaux, nous avons choisi de documenter l'évolution de deux marais intertidaux du barachois de la rivière Nouvelle, situés dans la baie des Chaleurs, au Québec. Ces deux marais font partie d'un même système, système estuarien avec flèche littorale. L'un est situé derrière la flèche littorale sud-ouest et l'autre au fond de la baie, à l'embouchure de la rivière Nouvelle. La méthodologie repose sur une approche spatio-temporelle à deux échelles. D'abord, des indicateurs paléoenvironnementaux provenant de l'analyse de macrorestes végétaux de trois carottes extraites dans les marais a reconstitué la paléoécologie du marais depuis le début de la sédimentation fine (595 BP) jusqu'à aujourd'hui. Ensuite, une cartographie multirate (1934-2007) des habitats côtiers et de l'occupation du sol a quantifié les changements récents du marais. Finalement une analyse dendrochronologique effectuée sur des billots de bois récoltés sous le dépôt du marais a permis d'estimer un taux d'accrétion. Les résultats montrent que les deux marais, localisés dans le même système lagunaire, répondent différemment aux facteurs environnementaux. Le marais situé à l'embouchure de la rivière Nouvelle a connu un gain de plus de 19 % alors que celui situé derrière la flèche littorale a subi une perte de 73 % au cours des 73 dernières années. L'érosion de ce marais est principalement attribuable aux vagues de tempête. L'évolution du marais situé à l'embouchure de la rivière Nouvelle a été fortement influencée par les activités de coupes forestières survenues dans le bassin versant qui ont contribué positivement au bilan sédimentaire favorisant l'accrétion verticale et l'expansion du marais. D'ailleurs, les taux d'accrétion estimés pour ce marais varient de 0,45 cm/an à 1,06 cm/an comparativement à 0,31 cm/an à 0,37 cm/an pour celui situé derrière la flèche littorale. Ces valeurs sont nettement supérieures aux taux mesurés dans les marais de l'estuaire du Saint-Laurent. À l'échelle séculaire, l'analyse des macrorestes végétaux indique que les deux marais se sont ajustés à la hausse du niveau marin passant d'une herbaie salée à un schorre supérieur.

INTRODUCTION

Les marais intertidaux font partie des habitats les plus sensibles aux changements environnementaux (Adam, 1990; Keddy, 2000). Ces changements sont engendrés par l'élévation du niveau marin relatif (Ward *et al.*, 1998), les vagues de tempêtes (Roman *et al.*, 1997), l'action des glaces littorales (Dionne, 1989; 2000), l'activité des oies (Dionne, 2000), le déficit sédimentaire (Bernatchez et Dubois, 2004) et les pressions anthropiques telles que les coupes forestières, l'activité agricole et l'urbanisation (Ward *et al.*, 1998). Sur les rives du Saint-Laurent, le remblaiement et l'agriculture constituent les principales causes de la perte de grandes superficies de marais. Dans le secteur de Kamouraska, entre 1976 et 2002, la superficie totale des marais a diminué de 51 % (Environnement Canada, 2006a). La plupart des pertes sont reliées directement à la construction d'aboteaux entre 1960 et 1990 convertissant une grande partie des marais en terres agricoles (Environnement Canada, 2006a). Dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent, le taux moyen d'érosion des schorres supérieurs a été évalué à 1,4 m/an depuis 1990 (Bernatchez et Dubois, 2004).

Sur les rives du Saint-Laurent, les études portant sur les effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux se sont toutes effectuées en milieu méso et macrotidal (Garneau, 1998; Hatvany, 2002; Dionne, 2004; Bernatchez et Dubois, 2004) et aucune en milieu microtidal. Ainsi, les connaissances sur la dynamique des marais intertidaux et plus particulièrement celles des effets des facteurs

environnementaux dans leur évolution dans les régions du golfe du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs font défaut.

Différentes approches sont utilisées dans l'identification des facteurs environnementaux régissant l'évolution des marais intertidaux. Parmi celles-ci, mentionnons, la cartographie historique (Halls et Kraatz, 2006), la reconstitution paléoécologique (Chmura *et al.*, 2001), l'estimation du taux d'accrétion (Delaune *et al.*, 1990), l'estimation du taux d'érosion (Van Proosdij *et al.*, 2006). En revanche, peu d'études privilégient une approche combinant à la fois une cartographie historique et une reconstitution paléoécologique. De façon générale, cette approche a pour but de comprendre la réponse des marais intertidaux aux facteurs environnementaux selon deux échelles spatio-temporelles comprises entre une période inférieure à 100 ans et une période supérieure à 100 ans. L'approche permet de caractériser les effets des facteurs environnementaux dans la dynamique écogéomorphologique.

L'approche spatio-temporelle sera appliquée pour caractériser les effets des facteurs environnementaux dans l'évolution de deux marais intertidaux localisés au sein d'un même système, à l'aide d'indicateurs paléoenvironnementaux et historiques (figure 1). Les objectifs spécifiques sont : 1) de décrire les caractéristiques paléoécologiques des marais intertidaux du début de la sédimentation fine jusqu'à aujourd'hui; 2) de quantifier

l'évolution de la superficie qu'occupent les deux marais de 1934 à 2007; 3) d'identifier et de décrire le rôle des facteurs environnementaux responsables de l'évolution des caractéristiques paléoécologiques et de la superficie des deux marais.

Localisation et description de la zone d'étude

La zone d'étude se situe dans la baie des Chaleurs, au Québec, plus précisément dans le barachois de la rivière Nouvelle, dans la municipalité de Nouvelle (figure 2). D'une superficie d'environ 540 ha, ce système estuarien avec flèches littorales est composé de deux marais. L'un est situé derrière la flèche littorale sud-ouest et l'autre est situé au fond de la baie, près de l'embouchure de la rivière Nouvelle. Les deux marais sont composés d'un schorre inférieur étroit à spartine alterniflore (*Spartina alterniflora*), d'un vaste schorre supérieur à spartine étalée (*Spartina patens*) en association avec le jonc de Gérard (*Juncus gerardii*), le jonc de la Baltique (*Juncus balticus*) et le Carex écaillé (*Carex paleacea*), d'une herbaçaie salée dominée entre autre par la spartine pectinée (*Spartina pectinata*) la verge d'or toujours verte (*Solidago sempervirens*), l'achillée millefeuille (*Achillea millefolium*) et le laitron des champs (*Sonchus arvensis*).

Le marais près de l'embouchure de la rivière Nouvelle couvre une superficie de 307 ha. Il est composé de nombreux chenaux de marée. L'activité agricole, le remblaiement effectué pour le passage de la route de Miguasha Est et l'exploitation forestière sont les principales activités humaines survenues à proximité du marais. Le marais de la flèche

littorale sud-ouest couvre une superficie de 70 ha. Le marais est situé derrière une flèche littorale d'une longueur d'environ 1 km. Il est caractérisé par de nombreuses mares et marelles colonisées par zannichellie palustre (*Zanichellia palustris*) et ruppie maritime (*Ruppia maritima*) ainsi que par la présence de lobes de tempête composés de matériaux grossiers au contact de la flèche littorale et du marais. Le remblaiement effectué pour l'établissement de terrains privés et la circulation automobile et piétonnière sur la flèche littorale sont les principales activités anthropiques à proximité du marais.

Le barachois de la rivière Nouvelle est soumis à une marée semi-diurne de régime microtidal à mesotidal comportant un marnage moyen entre 1,9 m et 2,7 m lors des grandes marées (Service hydrographique du Canada, 2006). La salinité est de 27,0 o/oo (Environnement Canada, 2006b), mais elle peut varier selon le débit de la rivière. La rivière Nouvelle draine un bassin versant d'une superficie de 1 195 km² avec un débit moyen de 26,3 m³/s pouvant atteindre un débit moyen de 110 m³/s lors des crues (Pesca, 1995). La rivière Nouvelle s'incise dans un delta fluvio-glaciaire. Elle se jette dans une vaste baie peu profonde de forme ellipsoïde. L'embouchure de l'estuaire constitue une zone de sédimentation importante. Les sédiments proviennent de trois sources : 1) de la rivière, 2) de la plate-forme littorale de la baie des Chaleurs et 3) de l'érosion des côtes situées à proximité (Dubois, 1984).

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Prélèvement

Carottage

Trois carottes de 4 cm de diamètre ont été prélevées dans la partie supérieure des marais à l'aide d'un carottier russe (ARI Russian Peat Borer) durant l'été 2006 (figure 3). Le prélèvement a été réalisé à partir de la surface actuelle jusqu'à l'argile marine ou jusqu'au placage de sable et de gravier qui la recouvre. Chaque prélèvement a fait l'objet d'un positionnement à l'aide d'un DGPS (Differential Global Positioning System, Promark3 Thales) la précision étant de 1,2 cm sur l'axe l'horizontal et de 1,5 cm sur l'axe vertical.

Indicateurs paléoenvironnementaux

Analyse des macrorestes végétaux

Des échantillons de 8 cm³ ont été prélevés à des intervalles réguliers (5 cm) dans les trois carottes (Payette et Rochefort, 2001). Les échantillons ont été lavés dans une solution de KOH dilué (5 %), puis tamisés à l'aide d'un tamis de 125 microns (Payette et Rochefort, 2001). Les macrorestes végétaux ont été identifiés et comptés et les foraminifères comptabilisés à l'aide d'une loupe binoculaire d'un grossissement de 10 à 40x (Payette et Rochefort, 2001).

Analyses stratigraphique et sédimentologique des dépôts

Les unités stratigraphiques des carottes ont été déterminées en fonction de la texture et de la couleur du matériel (Charte Munsell). Des échantillons ont été prélevés le long des carottes à intervalle régulier de 5 cm pour déterminer le pourcentage de matière organique par perte au feu (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec et du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2003) et pour des analyses granulométriques. Les échantillons pour analyses granulométriques ont été préparés, séchés au four, broyés puis tamisés afin de séparer la partie grossière (>2mm) de la partie fine (<2mm) (Lambert et Larocque, 1999). La distribution de fréquence de la taille des particules de la partie fine a été évaluée à l'aide d'un appareil LS13320 Beckman-Coulter *particule size analyser* selon l'échelle granulométrique de Udden-Wenworth.

Indicateurs historiques

Cartographie historique

Les données historiques sur les changements morphologiques des marais ont été obtenues par l'analyse d'une série de huit couvertures de photographies aériennes prises à des intervalles de 3 à 16 ans entre 1934 et 2007 (tableau 1). Ces photographies aériennes ont été numérisées à une résolution de 600 dpi puis importées dans un système d'information géographique (SIG) (ArcGIS 9.2.) où elles ont été géoréférencées à l'aide de l'orthophotographie de l'année 2001. Une dizaine de points de contrôle stables dans le temps et dans l'espace, d'origine anthropique ou naturelle, ont été identifiés sur chaque photographie aérienne pour obtenir une précision adéquate (marge d'erreur inférieure à 3 m) lors de la superposition (Hanson, 2006).

La limite des formations végétales a été utilisée comme niveau de référence pour délimiter les habitats côtiers et l'occupation du sol sur les photographies aériennes. Cette limite est facile à repérer par sa teinte aussi bien sur les photographies aériennes en noir et blanc, qu'infrarouge. Afin d'estimer la surface occupée des marais et l'occupation du sol pour une période donnée, 16 classes ont été déterminées (tableau 2).

Analyse de l'évolution de la surface occupée par les marais

L'évolution de la surface occupée par les marais a été quantifiée à partir d'une estimation des gains et des pertes pour une période donnée. Elle a été réalisée à l'aide de la méthode *Symmetrical difference* de l'outil *Overlay* dans Arcview 9.2 (Moran, 2003). Cette méthode permet de calculer l'intersection de deux classes pour deux couches d'années différentes en supprimant les propriétés communes. Une carte est générée à partir de la superposition des polygones cartographiés. Les données générées sont exportées dans Excel puis transformées en données relatives afin de quantifier les gains et les pertes des marais en effectuant la soustraction de la superficie du marais au temps 2 de celle du temps 1 puis divisée par la superficie du marais au temps 1 (Moran, 2003).

Analyse de l'évolution de la surface de l'occupation du sol

Une matrice de transition a été utilisée pour analyser la direction des changements observés des types d'habitats pour une période donnée. Elle a été réalisée à partir des données générées par la méthode d'analyse spatiale *Union* de l'outil *Overlay* dans Arcview 9.2 (Moran, 2003). Cette méthode calcule l'intersection géométrique de deux couvertures

(dans notre cas de deux années) de polygones en conservant les propriétés communes. Pour les besoins de l'analyse, un polygone (zone d'analyse) a été créé sur chaque marais afin de recouvrir les surfaces occupées de l'occupation du sol (figure 3). Les données générées ont été exportées dans Excel puis transformées en données relatives afin de réaliser un tableau croisé dynamique.

Analyses dendrochronologiques

À l'automne 2007, vingt-neuf billots de bois ont été récoltés sous le dépôt du marais pour des fins d'analyses dendrochronologiques (figure 3). Des coupes anatomiques ont été réalisées afin d'identifier avec certitude l'essence des arbres échantillonnés (Hoadley, 1990). La totalité des échantillons proviennent de fûts de sapin. Les échantillons présentant moins de 50 cernes n'ont pas été retenus lors des analyses de datation compte tenu de la très grande incertitude résultant d'un nombre trop faible de cernes (Fritts, 2001). Ainsi, 12 échantillons sur 29 présentent plus de 50 cernes. La totalité de ces 12 échantillons a été datée avec succès selon la chronologie de référence de l'épinette provenant du Bas-Saint-Laurent (Boulanger et Arseneault, 2004).

Datations par spectrométrie de masse

Des tiges et autres fragments de plantes ont été prélevés dans deux carottes pour datation par spectrométrie de masse au laboratoire Earth System Science Department de l'Université de Californie.

RÉSULTATS

Indicateurs paléoenvironnementaux

Carotte A

La carotte A a été prélevée dans le marais près de l'embouchure de la rivière Nouvelle à 0,54 m en altitude (selon 0 géodésique) dans la partie d'herbaciaie salée, près d'un chenal de marée (figure 3). D'une longueur de 43 cm, elle est composée de trois unités stratigraphiques (figure 4A). Une datation, faite à la base de la carotte à 43 cm de profondeur, sur des graines et des tiges de plantes a donné un âge moderne (UCIAMS-39013). D'une épaisseur de 10 cm, l'unité 1 est composée d'un mélange d'argile silteuse (74 %) et de fragments de matières organiques (10 %) reposant sur un substrat composé de sable, graviers et galets. Elle contient des graines de jonc de Gérard ainsi que d'une vingtaine de foraminifères. L'unité 2 est composée d'un dépôt de silt argileux (70 %) d'une épaisseur de 20 cm contenant des fragments de matières organiques moins nombreux que l'unité précédente (moins de 7 %). La présence de graines de jonc de Gérard, de foraminifères et de racines et radicules d'herbacées a été identifiée. L'unité 3 est d'une épaisseur de 13 cm. Elle est caractérisée par des sédiments silto argileux (80 %) dans lesquels sont contenus près de 20 % de matières organiques dans les cinq premiers centimètres. L'analyse de macrorestes indique une forte densité de racines et de graines dominés par le jonc de Gérard ainsi que la présence de foraminifères atteignant 600 individus dans la partie supérieure de l'unité.

Carotte B

La carotte B a été prélevée dans le marais près de l'embouchure de la rivière Nouvelle à une altitude de 1,04 m (selon 0 géodésique) dans le schorre supérieur (figure 3). D'une longueur de 87 cm, elle est composée de trois unités stratigraphiques dont la base repose sur des alluvions du delta de la rivière Nouvelle composés de sable, graviers et galets (figure 4B). D'une épaisseur de 10 cm, l'unité 1 est caractérisée par un mélange d'argile, de sable et de gravier. La proportion de silt est de 75 % et celle de matière organique, de 8 %. Cette unité contient majoritairement des graines de jonc de gérard, de graminée et de ruppie maritime. Le nombre de foraminifères passe de 266 à 166 individus de la base à la partie supérieure de cette unité. D'une épaisseur de 50 cm, l'unité 2 est composée d'un dépôt silto argileux (75 %) contenant 25 % de fraction sableuse. Le pourcentage de matière organique passe de 9 % à la base à 13 % dans la partie supérieure de l'unité. L'analyse de macrorestes révèle la présence de racines et radicelles d'herbacées et une dominance de jonc de gérard dont 16 graines ont été dénombrés à 27 cm de profondeur. Le nombre de foraminifères atteint 260 individus à 27 cm de profondeur. L'unité 3 est d'une épaisseur de 27 cm dont la base a été datée à 95 ans BP ± 25 (datation fait sur graines et tiges de plantes, UCIAMS-47287). L'échantillon prélevé en surface a donné un âge moderne (datation faite sur graines et tiges de plantes, UCIAMS-39011). L'unité est caractérisée par des sédiments silto argileux (80 %) contenant une proportion décroissante de matière organique variant de 26 % à 19 % à partir de la base à la partie supérieure de l'unité. L'analyse de macrorestes indique une forte densité de racines et radicelles d'herbacées et une dominance de graines de jonc de gérard, de troscart maritime

(*Triglochin maritima*) ainsi que de puccinellie sp. (*Puccinellia sp.*). Le nombre de foraminifères est passé de 340 à 148 individus de la base à la partie supérieure de l'unité.

Carotte C

La carotte C, d'une longueur de 98 cm, a été prélevée dans le marais de la flèche littorale sud-ouest à 1,23 m en altitude (selon le 0 géodésique) dans le schorre supérieur (figure 3). Elle est composée de trois unités stratigraphiques dont la datation de la base a donné un âge de 595 ans BP \pm 20 (datation faite sur graines et tiges de plantes, UCIAMS-47284) (figure 4C). D'une épaisseur de 10 cm, l'unité 1 repose sur des sédiments fins composés d'argile silteuse (84 %) et d'une proportion moindre de sable (15 %). L'analyse de macrorestes a permis de dénombrer un nombre élevé de graines de zannichellie palustre accompagnées en ordre d'importance de carex sp. de graminées et de troscart maritime. Le nombre de foraminifères s'élève à plus de 200 individus. L'unité 2, d'une épaisseur de 69 cm, est composée de silt argileux. La proportion de silt varie de 66 % à 93 % et le nombre de foraminifères dénombrés dans le sédiment varie de 52 à 600 individus selon la profondeur. L'analyse de macrorestes indique la présence de racines et radicelles d'herbacées. Les graines de jonc de Gérard dominant l'assemblage accompagné principalement de graines de spergulaire du Canada (*Spergularia canadensis*), de carex sp. et de glaux maritime (*Glaux maritima*). À 46 cm de profondeur, le dépôt date de 430 ans BP \pm 15 (datation faite sur graines et tiges de plantes, UCIAMS-37129). D'une épaisseur de 19 cm, l'unité 3 est composée de silt argileux et de sable dont la base a été datée à 385 ans BP \pm 20 (datation faite sur graines et tiges de plantes, UCIAMS-47286). De la base à la

partie supérieure de l'unité, la proportion de silt passe de 70 % à 90 % tandis que le contenu de matière organique passe de 15 % à 38 %. L'analyse de macrorestes végétaux a permis de dénombrer des graines de jonc de gérard, de troscart maritime ainsi que des graines de cypéracées, de graminées et de carex sp. en nombre inférieur. Le nombre de foraminifères varie de 11 à 80 individus de la base à la partie supérieure de l'unité.

Indicateurs historiques

Évolution de la superficie des marais

La surface du marais près de l'embouchure de la rivière Nouvelle a enregistré un gain de près de 20 % entre 1934 et 2004 (figure 5A). Le gain le plus élevé est survenu entre 1963 et 1979 (28 %). En revanche, le marais a subi la perte la plus élevée (6 %) entre 1993 et 2001. L'analyse comparative des photographies aériennes montre également que les gains les plus importants sont localisés dans la partie supérieure du marais et que les pertes sont localisées dans sa partie inférieure, soit au contact de l'eau et du marais, près du chenal principal de la rivière Nouvelle et à l'ouest du marais (figure 5A). La surface du marais situé derrière la flèche littorale a subi une perte de 73 % entre 1934 et 2007 (figure 5B). Les pertes se répartissent comme suit : 11 % de 1934 à 1950, 59 % de 1963 à 1979, 24 % de 1979 à 1993 et 14 % de 2001 à 2004. Les pertes les plus importantes sont localisées dans la partie supérieure et plus précisément au contact entre le marais et la flèche littorale. Finalement, les résultats révèlent également que la période entre 1963 et 1979 est une période de changements majeurs pour les deux marais. Le pourcentage de la surface occupée par les marais est relativement stable pour la période antérieure à 1963 (figure 6). La superficie qu'occupe celui près de la rivière est stable à près de 20 % et celle qu'occupe

celui de la flèche littorale se stabilise à environ 10 %. Par la suite, les deux marais évoluent différemment entre 1963 et 1979 (figure 6). Les résultats révèlent un gain de 6 % de la superficie du marais près de la rivière et une perte de la superficie du marais de la flèche littorale de 6 % entre 1963 et 1979. Par la suite, leur superficie est stable.

Évolution de la superficie de l'occupation du sol

L'évolution de la superficie de l'occupation du sol des zones analysées pour la période de 1934 à 2004 est illustrée au tableau 3 et à la figure 7. Le tableau 3 révèle l'évolution contrastée des deux marais sur la période de 70 ans. Alors que 77 % de la superficie du marais situé près de l'embouchure de la rivière demeure inchangée et que sa superficie est augmentée de 24 %, celle du marais de la flèche littorale demeure inchangée sur seulement 20 % et il subit une diminution de 58 % de sa superficie. Les classes d'occupation du sol responsables des gains du marais près de l'embouchure de la rivière sont : les terres agricoles (3 %), la forêt (2 %) et l'eau (2 %) (tableau 3A). De plus, les bancs d'accumulation végétalisés et non végétalisés cartographiés à l'embouchure de la rivière et le chenal sont les classes d'occupation du sol ayant le plus changé en position et en superficie entre 1934 et 2004 dans la zone d'analyse (tableau 3A). D'importants bancs d'accumulation se sont formés à l'embouchure de la rivière entre 1950 et 1979 alors que le chenal principal a migré latéralement vers le sud-ouest (figure 7A). Dans la zone d'analyse de la flèche littorale, les classes d'occupation du sol responsables des gains du marais sont : l'eau (4 %) et la flèche littorale (2 %). De plus, seulement 32 % de la superficie de la flèche littorale est demeurée inchangée depuis 1934. Entre 1963 et 1979, la superficie du marais

de la flèche littorale a subi une forte perte causée par la migration de celle-ci sur le marais (figure 7B).

Datation des coupes forestières par dendrochronologie

Les 12 échantillons datés présentait une surface lisse, c'est-à-dire que l'ensemble des cernes de l'arbre était présent. Les dates de coupe varient entre 1954 et 1968 (figure 8). La corrélation moyenne des échantillons issue de la chronologie flottante est de 0,525 et varie entre 0,276 et 0,668. Cette même chronologie flottante est très significativement corrélée avec la chronologie de référence (coefficient de corrélation = 0,47, $p < 0,001$; Gleichlaufigkeit [valeur de synchronisme] = 66,5 %, $p < 0,01$; test de T avec transformation de Baillie-Pilcher = 5,06; $p < 0,001$).

Taux d'accrétion

Le taux d'accrétion a été estimé à partir des datations par spectrométrie de masse réalisées sur des horizons prélevés à partir du matériel carotté ainsi à partir des analyses dendrochronologiques. Ces analyses ont été effectuées sur les billots de bois récoltés dans le marais près de la rivière Nouvelle (tableau 4). Les résultats révèlent que les taux d'accrétion estimés pour le marais près de l'embouchure de la rivière sont supérieurs (0,45 cm/an à 1,06 cm/an) à ceux estimés pour le marais derrière la flèche littorale (0,31 cm/an à 0,37 cm/an).

DISCUSSION

L'étude comparative des deux marais situés dans le barachois de la rivière Nouvelle indique une variabilité dans leur évolution sédimentologique et paléoécologique ainsi que dans leur patron d'extension et d'érosion selon les périodes analysées et selon le type de marais. Au sein du même système, les deux marais ont répondu différemment aux facteurs environnementaux (tableau 5). Bien que les résultats ne révèlent aucune influence de l'activité glacielle ou de crues dans l'évolution de ces marais, ces facteurs auraient pu contribuer à jouer un rôle dans les changements observés. Toutefois, le type d'indicateurs utilisé pour identifier les changements dans l'évolution des marais ne permet pas d'identifier le rôle de ces deux facteurs dans l'évolution des marais à l'étude.

Facteurs environnementaux identifiés pour le marais de l'embouche de la rivière Nouvelle

Les activités forestières

Les billots de bois, d'une longueur de 4 pieds, trouvés sous le dépôt du marais suggèrent que l'activité forestière a joué un rôle d'importance dans le bilan sédimentaire du marais près de la rivière Nouvelle. Ces billots de bois, coupés dans le bassin versant de la rivière Nouvelle, ont été par la suite transportés dans la rivière par flottage pour finalement se déposer sur les alluvions dans la baie. Les résultats des taux d'accrétion du marais, estimés à partir des billots de bois prélevés, varient de 0,45 cm/an à 1,06 cm/an, ce qui est supérieur aux taux d'accrétion des marais situés le long du Saint-Laurent. Dans 68,5 % des cas, le taux moyen d'accrétion des schorres du Saint-Laurent estuarien se situe entre 0,1 et 0,2 cm/an, dans 21 % des cas, entre 0,2 et 0,3 cm/an et dans 10,5 % des cas, au-dessus de

0,3 cm/an (Dionne, 2004). Les coupes forestières, qui ont atteint leur maximum en 1959 (Côté, 2008), coïncident avec les apports sédimentaires importants qui ont permis l'édification d'un delta à l'embouchure de la rivière Nouvelle. Les travaux de Brush (1989), réalisés dans la baie de Chesapeake, indiquent que les épisodes de forts taux d'accrétion dans les marais coïncident avec les coupes forestières intenses survenues dans le bassin versant de la baie. De plus, plusieurs études montrent que les coupes forestières modifient la réponse hydrologique des bassins versants et augmentent l'apport en sédiments provenant de la rivière (Orson *et al.*, 1985; Adam, 1990; Ward *et al.*, 1998). L'industrie forestière est devenue un moteur économique important dans la région à partir des années 1930 (Côté, 2008). Durant ces années, une entreprise de sciage s'est installée à l'embouchure de la rivière Nouvelle. En 1959, le volume de bois coupé atteint un maximum de plus de 11 millions de pieds cubes. Entre 1935 et 1968, la compagnie a dravé plus d'un million de cordes de bois (Côté, 2008). Toutefois, les nombreux méandres et les divisions fréquentes de la rivière ont rendu difficile l'opération de flottage de bois, et ont nécessité certaines interventions (Gidas, 1976). Le redressement du lit de la rivière et la circulation de la machinerie lourde sur les berges et le lit effectués pendant au moins une dizaine d'années ont favorisé le transport sédimentaire (Gidas, 1976). Afin d'évaluer l'effet de ces opérations sur le bilan sédimentaire, le Service de la qualité des eaux du ministère des Richesses naturelles a procédé à un échantillonnage, le 13 juin 1975, en amont et en aval de l'endroit où les opérations avec la machinerie lourde s'effectuaient. Les résultats montrent que la concentration des sédiments en suspension varie entre 2 et 7 mg/l en amont des tracteurs, alors que la concentration des sédiments en suspension atteint plus de 5 200

mg/l en aval de ceux-ci (Gidas, 1976). De plus, selon cette étude, le débit solide transporté par charriage serait beaucoup plus élevé que le débit solide en suspension déjà mentionné. Les opérations de la Compagnie ont eu pour effet d'augmenter le transport en suspension, l'engorgement de l'estuaire a été accentué, et elles ont contribué au rehaussement du lit mineur (Gidas, 1976). D'après les résultats, la période d'activité de flottage du bois correspond avec l'âge obtenu par dendrochronologie sur les billots de bois récoltés sous le dépôt du marais. Ainsi, la localisation des billots de bois prélevés sur les berges des chenaux de marée, sous le dépôt du marais, indique un comblement partiel des chenaux par les sédiments apportés par les activités forestières. De plus, Pesca (1995) révèle, à chaque cycle de marées en période de crue, un dépôt net de sédiments fins de 0,6 cm à la sortie de la rivière Nouvelle. Cette accumulation provoque un remplissage graduel de l'ensemble de la baie. Ce résultat, combiné à ceux des coupes forestières explique en partie l'estimation des taux d'accrétion supérieurs pour le marais de l'embouchure de la rivière Nouvelle, mais également l'expansion du delta entre 1950 et 1979 survenu après le pic des activités forestières dans le bassin versant.

Les activités agricoles

L'agriculture n'a été pratiquée que dans la partie supérieure du marais près de la rivière. La surface occupée des terres agricoles dans la zone analysée est passée de 7 % en 1934 à 2 % en 2004. D'après les résultats, l'abandon des terres agricoles, effectué entre 1963 et 1979, a permis au marais d'augmenter sa superficie à près de 6 % dans la zone analysée.

Facteur environnemental identifié pour le marais de la flèche littorale

Les vagues de tempête

Les résultats de la cartographie historique et de la matrice de transition révèlent que le marais de la flèche littorale sud-ouest a subi une perte causée par la migration de la flèche littorale sur le marais au cours des 73 dernières années. Cela indique un ensablement du marais causé par le déplacement vers les terres de la flèche littorale. En général, les marais prennent de l'expansion latérale selon l'allongement graduel de la flèche littorale (Keddy, 2000). Les résultats révèlent plutôt que la flèche littorale migre sur le marais entraînant ainsi une perte de la superficie. Cette migration vers les terres de l'ensemble de la flèche littorale est attribuée à la hausse graduelle du niveau marin (Davidson-Arnott et Fisher, 1992). Durant les 73 dernières années, la flèche littorale a subi des périodes de migration dans des endroits localisés au centre de la flèche sous forme de lobes de tempête composés de matériaux grossiers qui enfouissent la végétation du marais. Ces formes indiquent l'importance du processus de débordement qui a lieu durant certaines tempêtes (Giangioppi, 2004). Elles sont le résultat de l'accumulation de sédiments transportés par une succession de vagues de tempête et un niveau d'eau élevé (Davidson-Arnott et Fisher, 1992). Selon les résultats, le marais derrière la flèche littorale a subi des périodes d'ensablement majeures au cours des 73 dernières années. En ce sens, la période de 1963 à 1979 est la plus marquée. Durant cette période, un lobe d'une longueur de 8 m a migré sur le marais. Entre 2001 et 2004, un lobe de 20 m de long a été mesuré. Les études portant sur l'inventaire de tempêtes extrêmes sont assez récentes à cause de la disponibilité des données. Ainsi, aucune étude antérieure aux années 2000 n'a été réalisée dans le secteur de

la zone d'étude. Toutefois, une étude récente dans la baie des Chaleurs, à l'aide de la station marégraphique de Belledune, a enregistré sept tempêtes générant une surcote supérieure à 0,5 m entre 2000 et 2006 (Bernatchez *et al.*, 2008).

Facteur environnemental identifié pour les deux marais à l'étude

La hausse du niveau marin relatif

La hausse du niveau marin relatif, estimée à partir de données marégraphiques entre 1964 et 2003 à la station de Belledune au Nouveau-Brunswick a été de 0,11 cm/an (Koozhare *et al.*, 2006). Cette hausse semble avoir eu un effet sur les deux marais. L'abondance de foraminifères (plus de 200), dénombrés dans la carotte A, à partir de 10 cm de profondeur jusqu'à la surface actuelle indique une augmentation des inondations. Les résultats de l'analyse de macrorestes végétaux dans les deux marais révèlent le passage graduel d'un schorre inférieur à un schorre supérieur pour la carotte B et le passage graduel d'une herbaçaie salée à un schorre supérieur pour la carotte C (figure 4). La différence dans la composition végétale fossilifère des deux carottes s'explique en raison des forts taux d'accrétion pour le marais de l'embouchure de la rivière Nouvelle et par une séquence temporelle beaucoup plus longue pour le marais de la flèche littorale. Ainsi, cette hausse a un effet sur la composition végétale et animale fossilifères des marais. En effet, comme l'ont montré plusieurs études, les assemblages végétaux des marais sont déterminés par la fréquence et la durée d'inondation (Adam, 1990). Un changement dans les conditions hydrologiques du milieu change le type d'assemblages végétaux (Garneau, 1998; Plante, 2005). Même si la hausse du niveau marin relatif ne dépasse pas les taux d'accrétion

estimés pour le marais derrière la flèche littorale (0,31 cm/an et 0,37 cm/an) et ceux de celui près de l'embouchure de la rivière Nouvelle (0,45 à 1,06 cm/an), les résultats de la matrice de transition indiquent que la perte de la surface du marais de la flèche littorale (73 %) entre 1934 et 2007 est causée par la progression de l'eau au détriment du marais. La cartographie historique révèle que cette progression est localisée dans le schorre inférieur, soit au contact entre l'eau et le marais. La hausse récente du niveau marin pourrait être attribuable à ce changement. Toutefois, des observations sur le terrain indiquent la présence d'une microfalaise, signe de l'érosion du marais qui pourrait en être la cause. Près de l'embouchure de la rivière Nouvelle, les résultats de la matrice de transition révèlent également des pertes dans la partie inférieure du marais. Ainsi, la formation et l'accrétion rapide des marais, et plus particulièrement de celui situé près de la rivière, en raison des apports sédimentaires élevés a entraîné dans un premier temps son émergence comme en témoigne l'analyse des assemblages végétaux. Cependant, l'analyse de la partie supérieure du marais indique des inondations récentes en raison dans un premier temps de la réduction des apports sédimentaires et de la hausse du niveau marin relatif survenu dans un deuxième temps.

CONCLUSION

Les résultats indiquent qu'au sein d'un même système, les deux marais à l'étude répondent différemment aux perturbations naturelles et anthropiques. L'évolution du marais près de l'embouchure de la rivière Nouvelle est régie davantage par les perturbations anthropiques telles que l'exploitation forestière et l'agriculture. L'abandon des terres agricoles et l'apport en sédiments influencé par les activités forestières dans le bassin versant de la rivière Nouvelle ont eu un effet positif sur la superficie totale du marais ainsi que sur ses taux d'accrétion. L'évolution du marais derrière la flèche littorale est influencée par le dynamisme de cette dernière qui est contrôlé par les vagues de tempêtes. La migration de la flèche littorale sur le marais, survenue durant certaines tempêtes, a engendré un bilan négatif au cours des 73 dernières années. L'effet de la hausse récente du niveau marin tel qu'enregistré dans les deux marais se manifeste notamment par des changements dans la composition végétale. La hausse graduelle du niveau marin a eu pour effet le passage d'un environnement d'herbaçaie salée à un environnement de schorre supérieur. Finalement, l'intégration de plusieurs indicateurs paléoenvironnementaux et historiques s'avère un atout pour la reconstitution des habitats côtiers. Une telle approche spatio-temporelle permet de mieux comprendre l'effet des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux. Elle devrait ainsi prendre une place importante dans une perspective de gestion des habitats côtiers.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Jérôme Dubé, Sylvio Demers, Susan Drejza, Anne-Marie Leclerc, Michel Grégoire, Jean-Daniel Côté pour leur assistance sur le terrain. Nous tenons également à remercier Michelle Garneau ainsi que Manon Savard pour l'aide dans l'analyse de macrorestes végétaux. Merci également à Alain Caron pour l'aide dans l'analyse de la cartographie historique et à Roch Guévremont pour l'aide précieuse apportée dans les analyses granulométriques et de perte au feu. Cette recherche a été possible grâce au soutien financier de la chaire de recherche en géoscience côtière de l'UQAR, de BIONORD ainsi qu'à celui de la Fondation communautaire Gaspésie-Les Îles.

RÉFÉRENCES

Adam, P., 1990. Saltmarsh ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 461 p.

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

Bernatchez, P., Fraser, C. et Lefaivre, D., 2008. Effets des structures rigides de protection sur la dynamique des risques naturels côtiers : érosion et submersion. 4^{ième} Conférence canadienne sur les géorisques, Université Laval, 20-24 mai 2008.

Boulanger, Y. et Arseneault, D., 2004. Spruce budworm outbreak in eastern Quebec over the last 450 years. *Canadian Journal of Forest Research*, 34:1034-1043.

Brush, G.S., 1989. Rates and patterns of estuarine sediment accumulation. *Limnology oceanography*, 34(7) : 1235-1246.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec et Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec, 2003. Détermination de la matière organique par incinération : méthode de la perte au feu (PAF). MA. 1010-PAF 1.0, Ministère de l'environnement du Québec.

Chmura G., Helmer L., Beecher B. et Sunderland E., 2001. Historical rates of salt marsh accretion on the outer Bay of Fundy. *Canadian Journal of Earth Science*, 38 : 1081-1092.

Côté, J.-D., 2008. L'évolution du secteur forestier dans la Baie des Chaleurs. Mémoire de baccalauréat. Département de biologie, géographie et chimie, Université du Québec à Rimouski, 19p.

Davidson-Arnott, R.G.D. et Fisher, D. 1992. Spatial and temporal controls on overwash occurrence on a Great Lakes barriers spit. *Canadian Journal of Earth Science*, 29 : 102-117p.

Dionne, J.-C., 2000. Érosion récente du schorre supérieur à Saint-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 54 : 69-89.

Dionne, J.-C., 2004. Âge et taux moyen d'accrétion verticale des schorres du Saint-Laurent estuarien, en particulier ceux de Montmagny et de Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 58 : 73-108.

Dubois, J.-M.M., 1984. Diagnostique sur l'évolution de l'embouchure de l'estuaire de la rivière Nouvelle en Gaspésie, par photo-interprétation. Institut d'aménagement, Université de Sherbrooke, rapport pour le Ministère de l'Environnement du Québec, 15p.

Environnement Canada, 2006a. La superficie et la fragmentation des milieux humides riverains du système Grands Lacs–Saint-Laurent. Disponible en ligne à http://www.qc.ec.gc.ca/csl/fich/fich001_003_f.html, page consultée le 5 juillet 2006.

Environnement Canada, 2006b. Portrait de la biodiversité du Saint-Laurent. Disponible en ligne à www.qc.ec.gc.ca/faune/biodiv, page consultée le 5 juillet 2006.

Fairbanks, R.G., Mortlock, A., Chiu, T.C., Cao, L., Kaplan, A., Guilderson, T.P., Fairbanks, T.W. et Bloom, A.L., 2005. Marine Radiocarbon Calibration Curve Spanning 0 to 50,000 Years B.P. Based on Paired $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and ^{14}C Dates on Pristine Corals. *Quaternary Science Reviews*, 24: 1781-1796

Fritts, H.C., 2001. *Tree rings and climate*. Blackburn Press. Caldwell, N.J. USA. 567p.

Gagnon, M., 2002. Étude des caractéristiques biophysiques, des usages et du potentiel mycicole de six barachois du sud de la Gaspésie. Rapport de Biorex inc. à la Société de Développement de l'Industrie maricole (SODIM). 150 p.

Garneau, M., 1998. Paléoécologie d'une tourbière littorale de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, L'Isle-Verte, Québec. Commission géologique du Canada, Ottawa, Bulletin 514, 145p.

Giangioppi, M., 2004. Variation du trait de côte et impact géomorphologique des tempêtes dans la cellule sédimentaire de la flèche de Bouctouche, sur le littoral sud-est du Nouveau-Brunswick, entre 1945 et 2001. Mémoire de maîtrise, Université de Moncton, 223p.

Halls, J.N. et Kraatz, L.M., 2006. A spatio-temporal assessment of back-barrier salt marsh change: a comparison of multirate aerial photography and spatial landscape indices. Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes", Enschede, the Netherlands, 8-11 May 2006, 53-58.

Hanson, A.R. (directeur de publication) 2006. Ecosystem impacts of sea-level rise and climate change on the coastal zone of south-eastern New Brunswick. Rapport technique n 463. Service canadien de la faune, Région de l'Atlantique, Sackville, Nouveau-Brunswick, Canada. 233 p.

Hatvany, M.G., 2002. Marshland: four centuries of environmental change on the shores of the St.Lawrence. Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, 184p.

Hoadley, R.B., 1990. Identifying wood: accurate results with simple tools. Tauton Press, Newton, Connecticut.

Keddy, P.A., 2000. Wetland ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 614p.

Koohzare, A., Vanícek, P. et Santos, M., 2006. Compilation of the map of recent vertical crustal movements in eastern Canada using GIS, Journal of Surveying Engineering, ASCE, 132(4) : 160-167.

Lambert, M. et Larocque, A. 1999. Méthode d'analyse granulométrique : Extrait du bulletin de recherche no 82. Laboratoire de géographie physique, Département de géographie et télédétection de l'Université de Sherbrooke, mis à jour le 1er novembre 1999, 28p.

Moran, C.A.A., 2003. Spatio-temporal analysis of Texas shoreline changes using GIS technique. Thèse de maîtrise, Texas A&M University, 106p.

Orson, R., Panageotou, W. et Leatherman, S.P., 1985. Response of tidal salt marshes of the U.S. Atlantic and Gulf coast to rising sea levels. Journal of Coastal Research, 1 : 29-37.

Payette, S., Rochefort, L. (directeurs de publication) 2001. Écologie des tourbières du Québec-Labrador, Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec, 621p.

Pesca, 1995. Étude sédimentologique de la rivière Nouvelle, de la Petite rivière Nouvelle et du ruisseau Mann. Rapport préliminaire présenté à la Société de restauration et de gestion de la Nouvelle inc., 95p.

Plante, C., 2005. « Des marais et des hommes ». Nature et culture à l'Isle-aux-Grues, de l'époque amérindienne à aujourd'hui. Thèse de maîtrise, Faculté de foresterie et géomatique, Université Laval, 265p.

Roman, C.T., Peck, J.A., Allen, J.R., King, J.W. et Appleby, P.G., 1997. Accretion of a New England (U.S.A) salt marsh in response to inlet migration, storms, and sea-level rise. *Estuarine, coastal and Shelf Science*, 45 : 717-727.

Service hydrographique du Canada, 2006. Marées, courants et niveaux d'eau. Disponible en ligne à <http://www.lau.chs-shc.dfo-mpo.gc.ca/>, page consultée le 20 août 2006.

Van Proosdij, D., Ollerhead, J. et Davidson-Arnott, R.G.D., 2006. Seasonal and annual variations in the volumetric sediment balance of a macro-tidal salt marsh. *Marine Geology*, 225 : 103-127.

Ward, L.G., Kearney, M.S. et Stevenson, J.C., 1998. Variations in sedimentary environments and accretionary patterns in estuarine marshes undergoing rapid submergence, Chesapeake Bay. *Marine Geology*, 151 : 111-134.

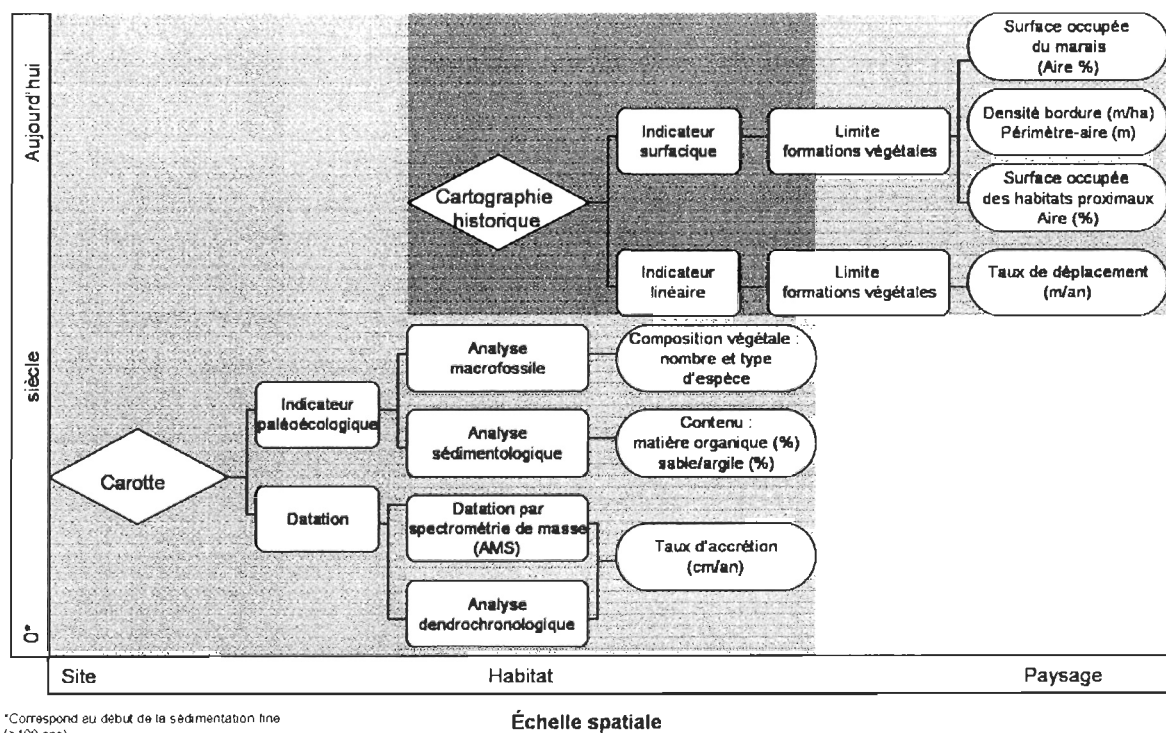


Figure 1. Schéma méthodologique montrant l'approche spatio-temporelle.

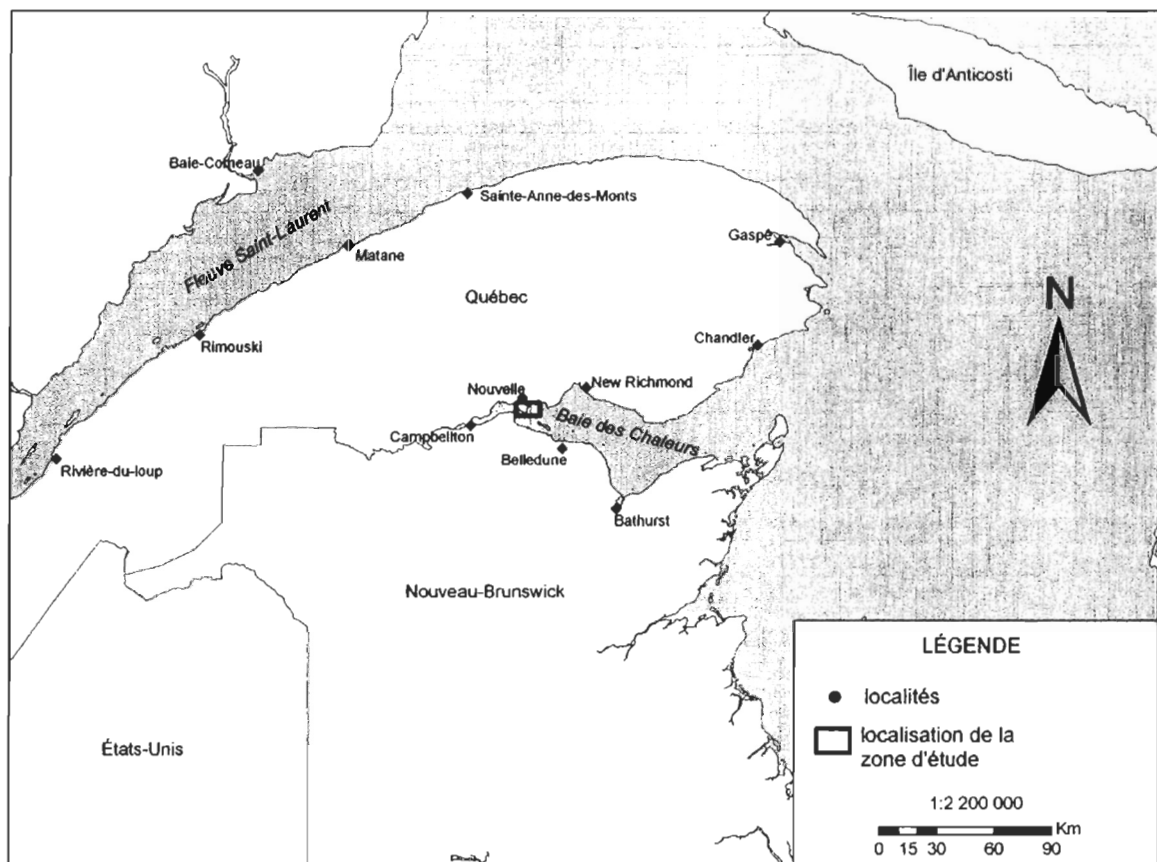


Figure 2. Localisation de la zone d'étude.

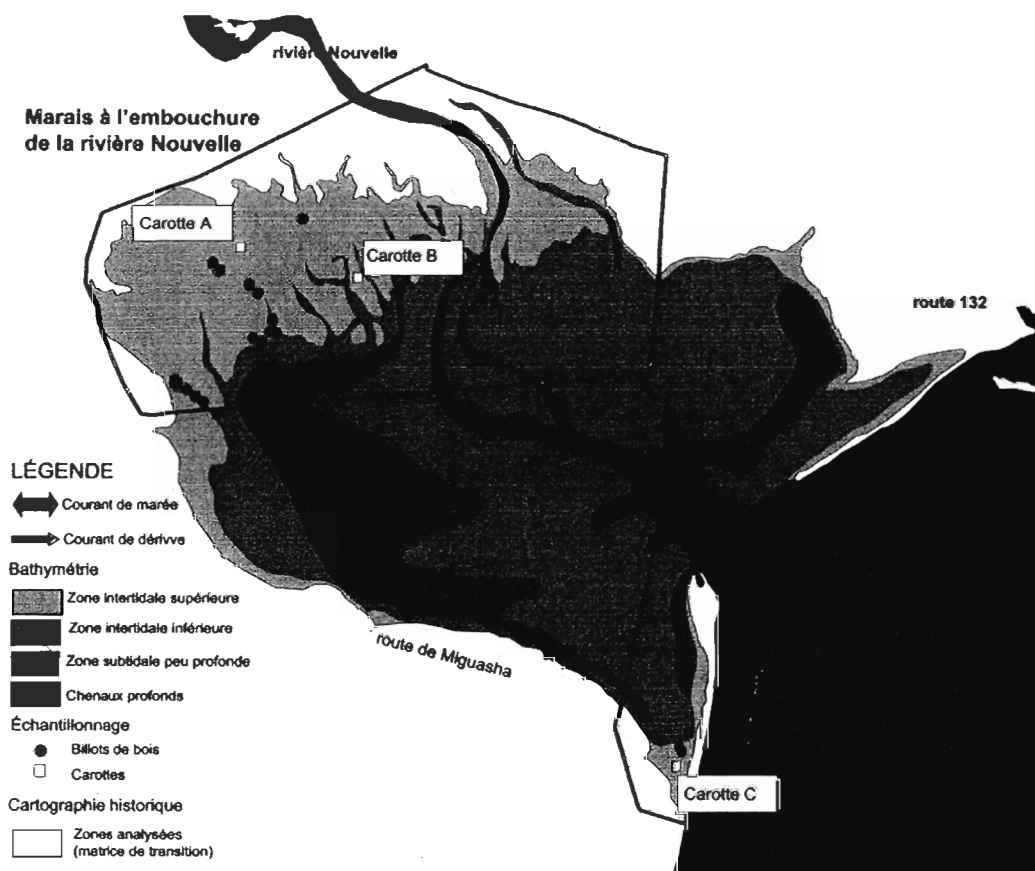


Figure 3. Localisation des sites d'échantillonnage et des zones d'analyse pour l'évolution historique de la superficie des marais, modifiée de Gagnon (2002).

Tableau 1. Liste des photographies aériennes.

<i>Années</i>	<i>Échelle</i>	<i>Type</i>
1934	1 :15000	Noir et blanc
1950	1 :40000	Noir et blanc
1963	1 :15000	Noir et blanc
1979	1 :10000	Noir et blanc
1993	1 :15000	Infrarouge
2001	1 :40000	Noir et blanc (orthophotographie)
2004	1 :15000	Infrarouge
2007*	Résolution au sol 15 cm par 15 cm	Infrarouge (vidéographie)

*Images disponibles que pour le marais derrière la flèche littorale

Tableau 2. Type d'habitat cartographié selon le site à l'étude.

<i>Type d'habitat</i>	<i>Marais de la baie</i>	<i>Marais, flèche littorale sud-ouest</i>
Eau	X	X
Chenal principal	X	Abs.
Mares/marelles	Abs.	X
Marais ¹	X	X
Schorre inférieur ²	X**	X
Schorre supérieur ³	X**	X
Herbaciaie salée ⁴	*	X
Forestier	X	X
Agro-forestier	X	Abs.
Agricole	X	Abs.
Urbain/Agricole	X	Abs.
Urbain	Abs.	X
Banc d'accumulation	X	Abs.
Banc d'accumulation végétalisé	X	Abs.
Flèche littorale ⁵	Abs.	X
Plage ⁶	Abs.	X

Abs. : Type d'habitat absent

* En raison de la complexité des formations végétales résultant du par le système de drainage et les variabilités topographiques, ces parties du marais n'ont pas été cartographiées.

** En raison de la complexité des formations végétales résultant du par le système de drainage et les variabilités topographiques, seulement la limite supérieure du schorre inférieur et la limite inférieure du schorre supérieur ont été cartographiées.

1. S'étend entre le niveau des basses mers inférieures de marée moyenne et le niveau des houles de tempêtes.

2. S'étend entre le niveau des basses mers inférieures de marée moyenne et le niveau des pleines mers supérieures de marées moyennes

3. S'étend entre le niveau des pleines mers supérieures de marées moyennes et le niveau des pleines mers supérieures de grande marée.

4. S'étend entre le niveau des pleines mers supérieures de grande marée et le niveau des houles de tempête.

5. S'étend entre le niveau des pleines mers supérieures de grande marée du côté mer et du côté de la lagune.

6. S'étend entre la ligne de la flexure, séparant le haut et le bas estran et la ligne des pleines mers supérieures de grande marée.

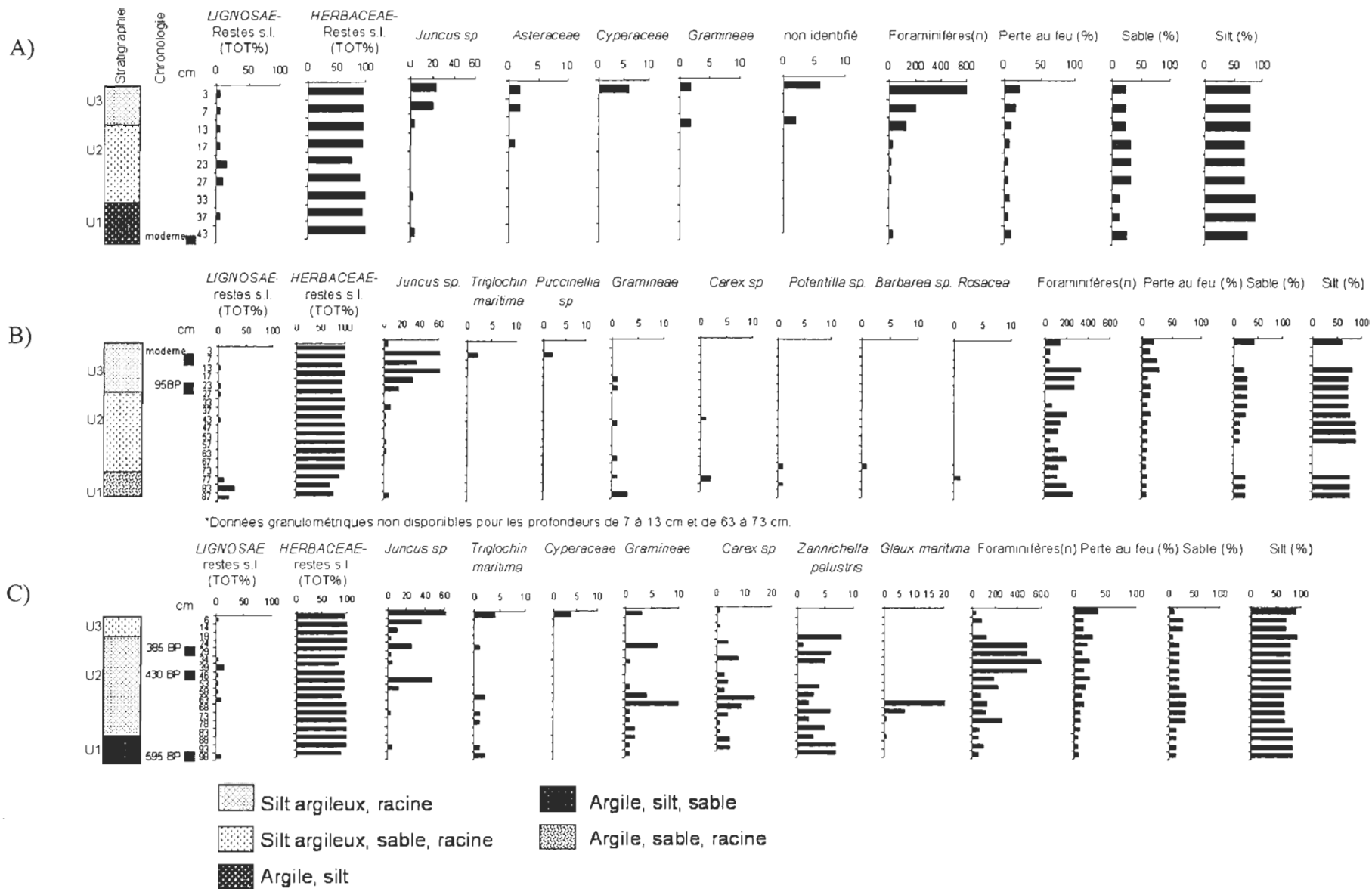
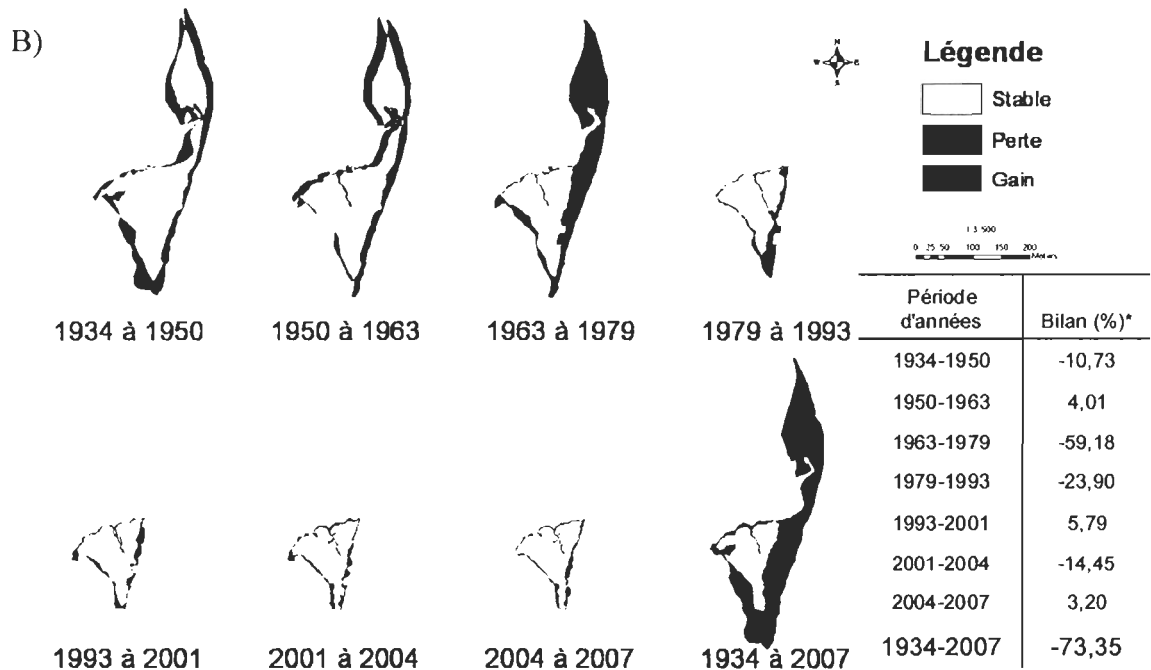
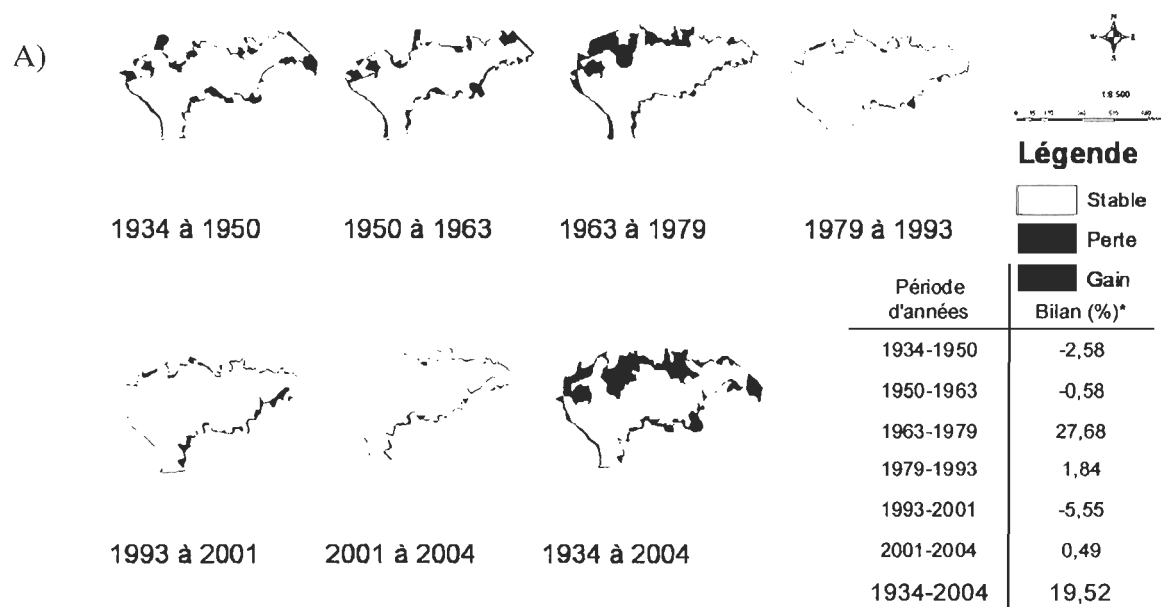


Figure 4. Diagrammes de macrorestes végétaux (nombre de graines par 8 cm³), de la carotte A (A), de la carotte B (B), de la carotte C (C).



*(Superficie du marais au temps 2- Superficie du marais au temps 1)/Superficie du marais au temps 1*100
Marge d'erreur de 1%

Figure 5. Évolution spatio-temporelle de la superficie du marais de l'embouchure de la rivière Nouvelle entre 1934 et 2004 (A) et du marais de la flèche littorale sud-ouest entre 1934 et 2007 (B).

Tableau 3. Matrice de transition du marais de l'embouchure de la rivière Nouvelle entre 1934 et 2004 (A) et du marais de la flèche littorale sud-ouest entre 1934 et 2007 (B).

A)

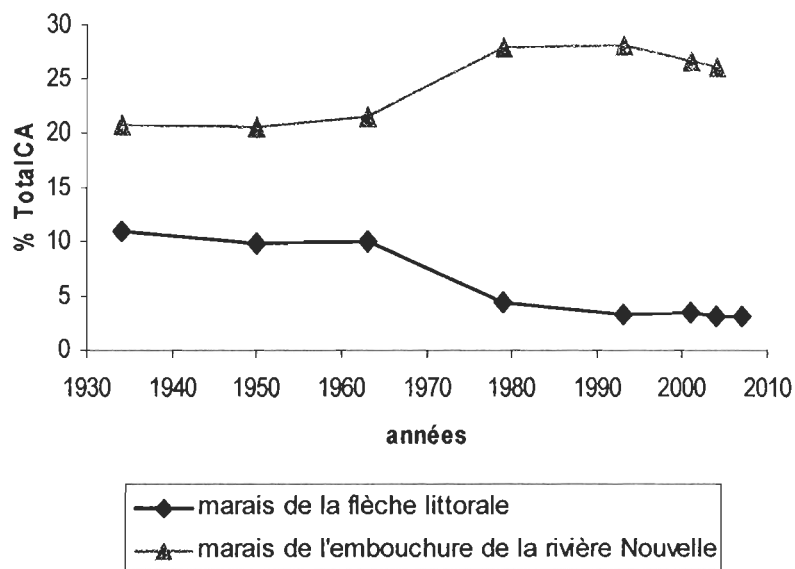
	2004									Total 1934
	agricole	agro-forestier	banc accumulation	banc accumulation végétalisé	chenal principal	eau	forestier	marais	urbain-agricole	
1934										
agricole	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,37	3,99	0,37	7,27
agro-forestier	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,23	0,74
banc accumulation	0,00	0,00	0,00	1,55	0,60	3,70	0,44	0,21	0,05	6,55
banc accumulation végétalisé	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
chenal principal	0,00	0,00	0,00	0,20	0,81	0,25	1,00	0,00	0,00	2,06
eau	0,05	0,04	0,00	0,13	0,34	32,69	0,69	2,76	0,04	37,03
forestier	0,08	0,02	0,00	0,01	0,56	1,20	10,30	2,82	0,52	15,59
marais	0,01	0,00	0,00	0,09	0,20	3,68	0,47	18,14	0,13	20,75
urbain-agricole	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,05	0,00	9,76	10,25
Total 2004	2,38	0,47	0,00	1,98	2,31	42,21	13,40	25,92	11,10	100,29
Superficie (%) inchangée depuis 1934*	30,76	55,96	0,00	0,00	29,40	88,30	66,04	77,82	95,20	

B)

	2007									Total 1934	
	Bas marais	Eau	Flèche littorale	Forestier	Haut marais	Herbaciaie salee	Marais	Mare	Plage		Urbain
1934											
Bas marais	0,35	0,36	0,17	0,02	0,92	0,00	1,27	0,06	0,03	0,00	3,19
Eau	0,00	54,14	2,76	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,02	57,92
Flèche littorale	0,00	3,65	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	5,55
Forestier	0,00	0,07	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,42
Haut marais	0,00	3,63	1,63	0,01	0,87	0,23	1,10	0,01	0,32	0,00	7,89
Herbaciae salee marais	0,00	0,23	0,00	0,50	0,15	0,07	0,22	0,00	0,02	0,76	1,95
Mare	0,35	4,22	1,79	0,53	1,93	0,30	2,59	0,07	0,37	0,76	13,02
Plage	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,07
Urbain	0,00	2,05	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	3,20
Total 2007	0,72	68,35	9,06	1,62	4,05	0,59	5,38	0,17	1,83	8,42	100,18
Superficie (%) inchangée depuis 1934*	11,13	93,47	32,74	53,73	10,99	3,48	19,89	8,61	8,22	92,56	

* Superficie (%) inchangée depuis 1934 = $\frac{\% \text{ de la superficie inchangée de la classe pour la période d'analyse}}{\% \text{ de la superficie totale de la classe en 1934}} * 100$

Figure 6. Pourcentage de la surface occupée par les marais dans leur zone d'analyse respective (% Total CA) par analyse comparative de photographies aériennes du marais de l'embouchure de la rivière Nouvelle (entre 1934 et 2004) et de celui de la flèche littorale (entre 1934 et 2007).



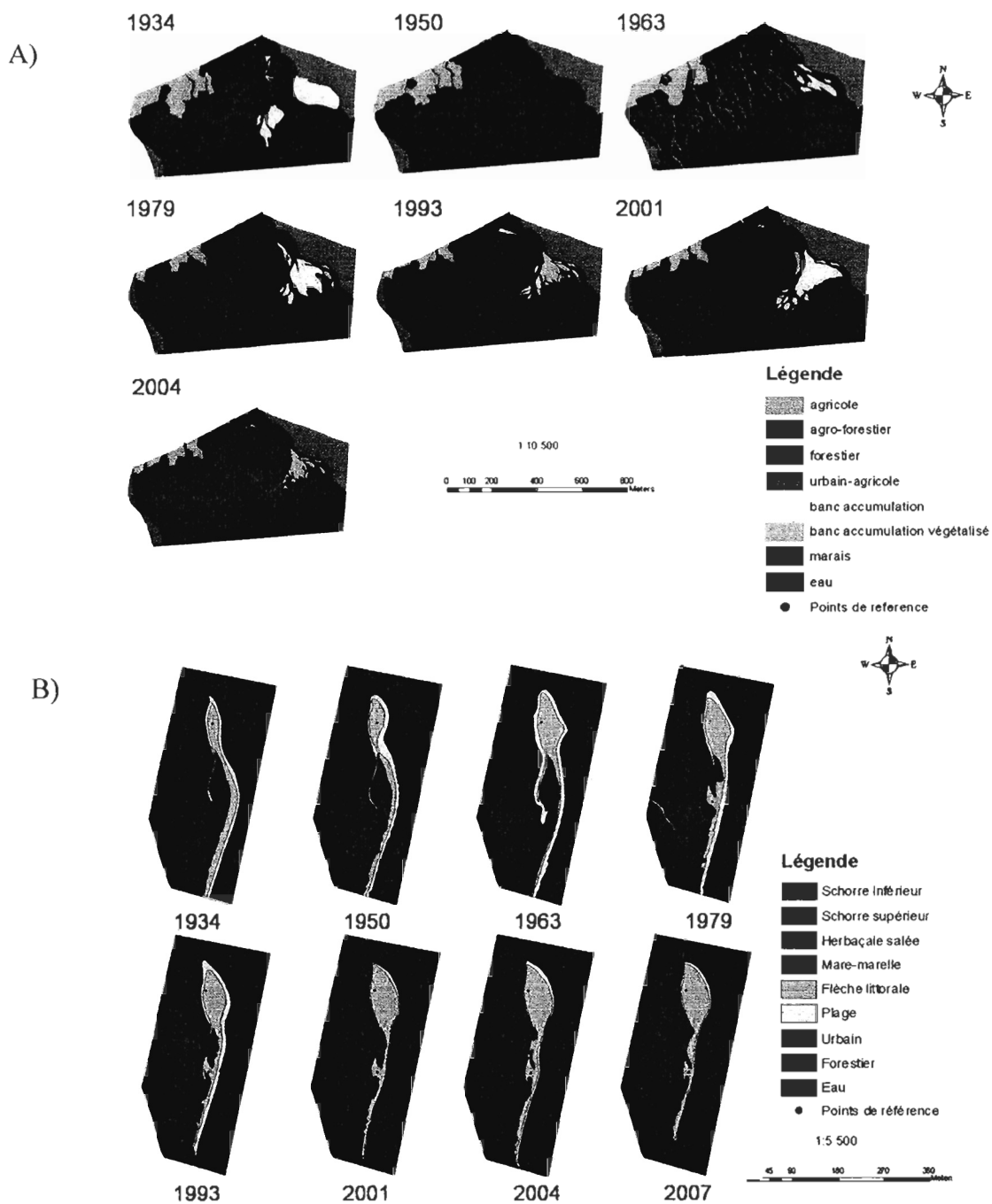


Figure 7. Évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol pour le marais de la baie entre 1934 et 2004 (A) et pour le marais de la flèche littorale sud-ouest entre 1934 et 2007 (B).

Tableau 4. Taux d'accrétion estimé à partir des datations par spectrométrie de masse et de dendrochronologie.

<i>Carottes et billots</i>	<i>Type de marais A : Fond de baie B : Flèche littorale</i>	<i>Âge obtenu BP****</i>	<i>Datation calibrée****</i>	<i>Université Laval</i>	<i>Université de Californie</i>	<i>Épaisseur du dépôt (cm)</i>	<i>Taux d'accrétion (cm/an)</i>
Carotte A	A	moderne** à aujourd'hui		ULA-396	UCIAMS-39013	43	Nd
Carotte B	A	95 BP ±25 à moderne**	vers 100 ans	ULA-605 ULA-394	UCIAMS-47287 UCIAMS-39011	20	Nd
Carotte C	B	595 BP ±20 à à	591 ±32	ULA-601	UCIAMS-47284	52	0,31
		430 BP ±15 à	498 ±9	ULA-391	UCIAMS-37129		
		430BP ±15 à à	498 ±9	ULA-391	UCIAMS-37129	17	0,37
		385BP ±20 à	465 ±39	ULA-604	UCIAMS-47286		
		385BP ±20 à aujourd'hui	465 ±39	ULA-604	UCIAMS-47286	29	Nd
Billot 02	A	1960				44*	1.06
Billot 03	A	1947				53*	0.88
Billot 08	A	1958				42*	0,85
Billot 10	A	1957				27*	0,54
Billot 12	A	1961				25*	0,54
Billot 16	A	1967				38*	0,95
Billot 17	A	1954				27*	0,50
Billot 18	A	1959				25*	0,52
Billot 20	A	1956				23*	0,45
Billot 21	A	1968				25*	0,64
Billot 22	A	1967				35*	0,87
Billot 24	A	1954				35*	0,66

* Estimé à partir de la base du billot de bois

** Correspond à la période supérieure à 1960

*** Type matériel daté : graines et tiges de plantes

**** Datation calibrée selon le modèle de Fairbanks (2005)

Nd. Taux d'accrétion non déterminé par le résultat imprécis obtenu par datation

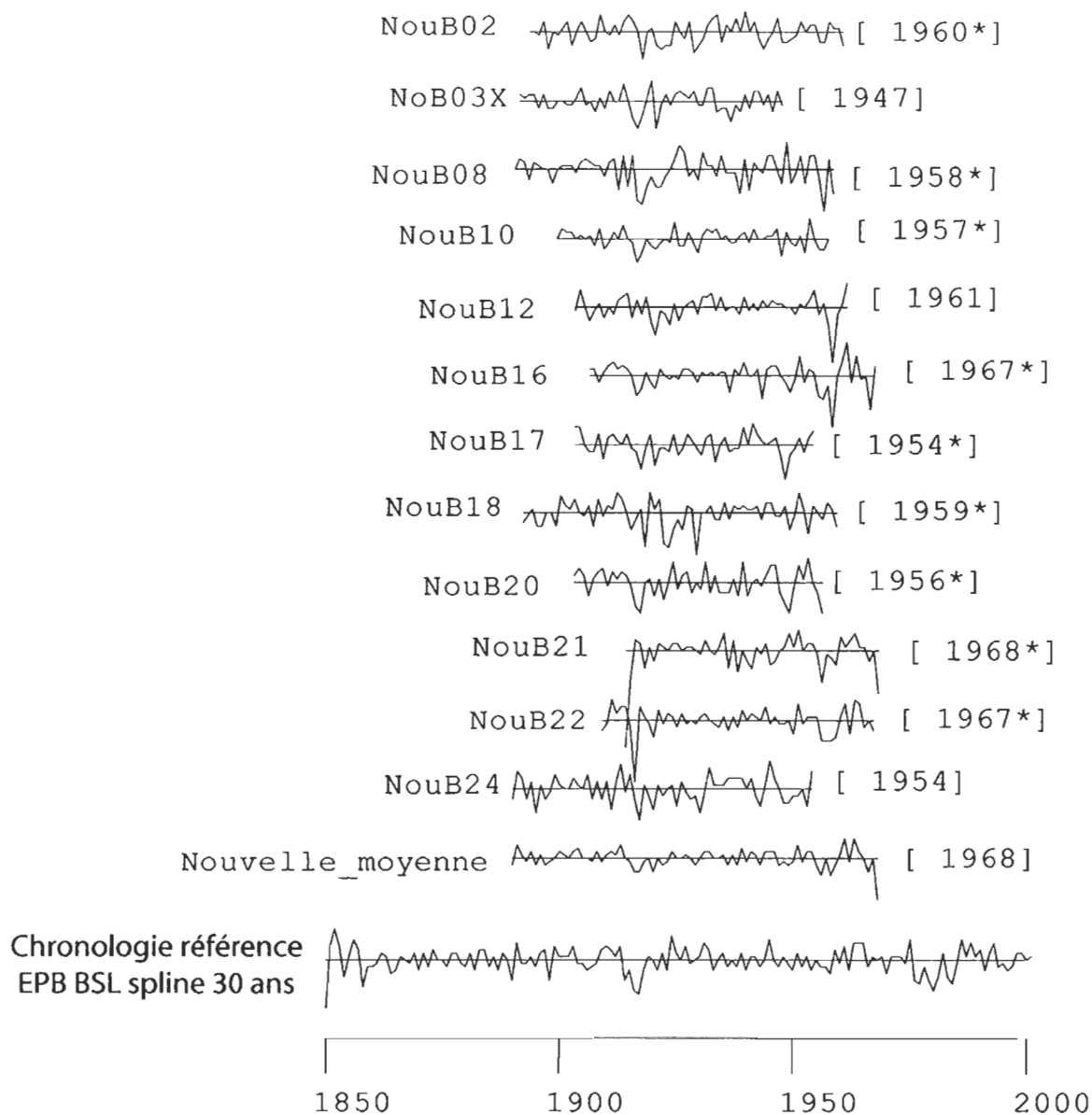


Figure 8. Séries résiduelles provenant des 12 échantillons datés ainsi que la chronologie résiduelle moyenne qui en résulte. L'astérisque indique que la surface de la galette semblait lisse témoignant de la présence du dernier cerne réel de croissance de l'arbre (c.à.d. sans érosion apparente).

Tableau 5. Facteurs environnementaux identifiés pour chacun des marais à l'étude selon les changements observés dans les indicateurs paléoécologiques et historiques.

Facteurs environnementaux		Indicateurs paléoécologiques (>100 ans)			Indicateurs historiques (<100 ans)	
		Contenu en sable/argile (%)	Contenu en matière organique (%)	Composition végétale et animale fossilifère	Taux d'accrétion	Surface (gain/perte)
Facteurs naturels	Variation du niveau marin	■	■	■	■	■
	Vague de tempête					■
	Crue					
	Glacier					
Facteurs anthropiques	Activité forestière				■	■
	Activité agricole					■

■ Facteurs environnementaux identifiés pour le marais de l'embouchure de la rivière Nouvelle et de la flèche littorale.

■ Facteurs environnementaux identifiés spécifiquement pour le marais de l'embouchure de la rivière Nouvelle.

■ Facteurs environnementaux identifiés spécifiquement pour le marais de la flèche littorale.

CHAPITRE V

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les recherches portant sur l'évolution historique de l'écologie du paysage permettent d'étudier la réponse de différents habitats aux changements environnementaux qui est difficilement observable sur une courte période de temps. Dans ce mémoire, une approche spatio-temporelle a été employée afin de 1) décrire les caractéristiques paléoécologiques de deux marais du début de la sédimentation fine jusqu'à aujourd'hui; 2) quantifier l'évolution de la superficie qu'occupent les deux marais de 1934 à 2007; 3) décrire le rôle des facteurs environnementaux dans l'évolution des caractéristiques paléoécologiques des deux marais et de leur superficie.

Les résultats indiquent qu'au sein d'un même système, les deux marais répondent différemment aux perturbations naturelles et anthropiques. L'évolution du marais près de l'embouchure de la rivière Nouvelle est régie davantage par les perturbations anthropiques principalement l'exploitation forestière et l'agriculture. L'abandon des terres agricoles et l'apport en sédiments influencé par les activités forestières dans le bassin versant de la rivière Nouvelle ont eu un effet positif sur la surface occupée du marais ainsi que sur les taux d'accrétion. L'évolution du marais derrière la flèche littorale est influencée par le dynamisme de cette dernière qui est contrôlé par les vagues de tempêtes. La migration de la flèche littorale sur le marais, survenue durant certaines tempêtes, a causé une diminution de

la surface occupée par le marais au cours des 73 dernières années. L'effet de la hausse du niveau marin relatif se manifeste dans les deux marais par des changements dans la composition végétale, passant d'une herbaçaille salée à un schorre supérieur.

Ce mémoire contribue au développement des connaissances sur les effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux situés en régime microtidal à mésotidal. Toutefois, plusieurs points restent encore à éclaircir. Par exemple, il serait intéressant qu'une étude similaire soit effectuée dans d'autres parties du Saint-Laurent, en fonction du régime marégraphique, pour vérifier si les changements observés dans les marais du barachois de la rivière Nouvelle sont répandus. Il faudrait aussi réaliser des études afin d'évaluer à l'échelle d'un bassin versant les impacts des activités humaines sur le bilan sédimentaire des marais situés à proximité de rivières. Enfin, il serait pertinent d'étudier plus précisément l'effet des glaces, des crues, des niveaux d'eau et des tempêtes sur la composante végétale et sédimentaire des marais intertidaux.

Ce mémoire contribue également au développement des connaissances sur les méthodes les plus appropriées sur les études des marais intertidaux. Dans le cas de la cartographie historique, les résultats révèlent que l'approche surfacique est la plus adéquate pour estimer les gains et les pertes des marais, mais aussi pour identifier les causes des changements observés dans les marais. De plus, en raison de l'irrégularité du trait de côte

des marais lorsqu'ils sont en érosion, l'approche linéaire ne permet pas d'estimer des taux de déplacement de façon concluante. L'estimation des taux d'accrétion par la méthode de plaques à sédiment est très complexe. En raison de l'activité des glaces, plusieurs plaques n'ont même pas été retrouvées. De plus cette méthode nécessite une longue période de prise de données afin d'obtenir des résultats significatifs. L'analyse de macrorestes végétaux a permis d'obtenir des résultats concluants même s'il y a une limite spatiale à ce type d'analyse. Elle doit donc être combinée à une analyse spatiale telle que la cartographie historique. Quant aux analyses granulométriques et de perte au feu, un échantillonnage plus serré, c'est-à-dire à un intervalle de 1 cm au lieu de 5 cm, aurait probablement précisé davantage les résultats obtenus. Finalement l'analyse dendrochronologique réalisée sur les billots de bois retrouvés sous le dépôt du marais a permis d'estimer des taux d'accrétion et de dater le début de la sédimentation fine. Contrairement aux méthodes de datation au radiocarbone (^{14}C), la dendrochronologie possède l'avantage de déterminer à l'année près plusieurs événements historiques. Elle a apporté des résultats concluants sur l'effet de l'activité forestière dans le bilan sédimentaire des marais. Cette méthode devrait être davantage utilisée dans l'estimation des taux d'accrétion puisque la plupart des marais situés à l'embouchure d'une rivière présentent à leur base des billots de bois, vestige d'une coupe forestière.

En terminant, l'intégration de plusieurs d'indicateurs paléoenvironnementaux et historiques s'avère très favorable pour la reconstitution des habitats côtiers. Cette approche spatio-temporelle permet de mieux comprendre les effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux. Elle devrait ainsi prendre une place importante dans une perspective de gestion des habitats côtiers et d'aménagement du territoire.

RÉFÉRENCES

- Adam, P., 1990. Saltmarsh ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 461p.
- Adam, P., 2002. Saltmarshes in a time of change. *Environmental Conservation*, 29 : 39-61.
- Alcock, F.J., 1935. Géologie de la région de la baie des Chaleurs. Commission géologique du Canada, Ottawa, Bulletin 183, 165p.
- Allen, J.R.L., 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 19 : 1155-1231.
- Allen, J.R.L., 1990. Salt marsh grow and stratification : a numerical model with special reference to the Severn Estuary, southwest Britain. *Marine Geology*, 95 : 77-96.
- Allen, J.R.L., 1997. Simulation models of salt-marsh morphodynamics : some implications for high-intertidal sediment couplets related to sea-level change. *Sedimentary Geology*, 113 : 211-223.
- Artigas, F., Yang, J., 2004. Hyperspectral Remote Sensing of Habitat Heterogeneity Between Tide-Restricted and Tide-Open Areas in the New Jersey Meadowlands. *Urban habitats*, 2(1) : 112-129.
- Bail, P., 1983. Problèmes géomorphologiques de l'englacement et de la transgression marine pléistocènes en Gaspésie sud-orientale. Thèse de doctorat présentée à la Faculty of Graduate Studies and Research, Université McGill, 148p.
- Bernatchez, P. et Dubois, J.-M.M, 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime Laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58: 45-71.
- Bernatchez, P. et Quintin, C., 2005. Portait préliminaire de la diversité des côtes du Québec maritime. Rapport de recherche présenté au Centre Boréal du Saint-Laurent, UQAR, 34p.
- Bernatchez, P., Fraser, C. et Lefavre, D., 2008. Effets des structures rigides de protection sur la dynamique des risques naturels côtiers : érosion et submersion. 4^{ième} Conférence canadienne sur les géorisques, Université Laval, 20-24 mai 2008.

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, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p.

Boulanger, Y. et Arseneault, D., 2004. Spruce budworm outbreak in eastern Quebec over the last 450 years. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 : 1034-1043.

Brush, G-S., 1989. Rates and patterns of estuarine sediment accumulation. *Limnology oceanography*, 34(7) : 1235-1246.

Brush, G-S., 2001. Natural and anthropogenic changes in Chesapeake bay during the last 1000 years. *Human and ecological risk assessment*, 7(5) : 1283-1296.

Cahoon D., Reed D. et Day J., 1995. Estimating shallow subsidence in microtidal salt marshes of the southeastern United States : Kaye and Barghoorn revisited. *Marine Geology*, 128 : 1-9.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec et Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec, 2003. Détermination de la matière organique par incinération : méthode de la perte au feu (PAF). MA. 1010-PAF 1.0, Ministère de l'environnement du Québec.

Chmura G., Helmer L., Beecher B. et Sunderland E., 2001. Historical rates of salt marsh accretion on the outer Bay of Fundy. *Canadian Journal of Earth Science*, 38 : 1081-1092.

Côté, J-D., 2008. L'évolution du secteur forestier dans la baie des Chaleurs. Mémoire de baccalauréat. Département de biologie, géographie et chimie, Université du Québec à Rimouski, 19p.

Couillard, L. et Grondin, P., 1986. La végétation des milieux humides du Québec. Les Publications du Québec, Québec. 400p.

Craft, C.B., Seneca, E.D. et Broome, S.W., 1993. Vertical accretion in microtidal regular and irregularly flooded estuarine marshes. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 37 : 371-386.

Davidson-Arnott, R.G.D. et Fisher, D., 1992. Spatial and temporal controls on overwash occurrence on a Great Lakes barriers spit. *Canadian Journal of Earth Science*, 29 : 102-117p.

De Lacerda, L.D., 1994. Coastal lagoon processes. Elsevier Oceanography, 60 : 221-237.

Delaune, R.D., Patrick, W.H. et Van Breeman W., 1990. Processes governing marsh formation in a rapidly subsiding coastal environment. Catena, 17 : 227-288.

Deschênes, J. et Sérodes, J.B., 1986. Recyclage des métaux et du phosphore par *Scirpus americanus* et *Spartina alterniflora* dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Le Naturaliste canadien, 113 : 143-151.

Dionne, J-C., 1969. Érosion glacielle littorale, estuaire du Saint-Laurent. Revue de Géographie de Montréal, 23 : 5-20.

Dionne, J-C., 1972. Caractéristiques des schorres des régions froides, en particulier de l'estuaire du Saint-Laurent. Zeitschrift für Geomorphologie, 13 : 131-162.

Dionne, J-C., 1984. An estimate of ice-drifted sediments based on the mud content of the ice cover at Montmagny, Middle St.Lawrence estuary. Marine Geology, 57 : 149-166.

Dionne, J-C., 1985. Formes, figures et faciès sédimentaires glaciels des estrans vaseux des régions froides. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 51 : 415-451.

Dionne, J-C., 1986. Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 11 : 307-323.

Dionne, J-C., 1989. An estimate of shore ice action in a *Spartina* tidal marsh, St.Lawrence estuary, Quebec. Géographie physique et Quaternaire, 5 : 281-293

Dionne, J-C., 2000. Érosion récente du schorre supérieur à Saint-Anne-de-Beaupré, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 54 : 69-89.

Dionne, J-C., 2004. Age et taux moyen d'accrétion verticale des schorres du Saint-Laurent estuarien, en particulier ceux de Montmagny et de Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 58 : 73-108.

Drapeau, G. et Morin, R., 1981. Contribution des vagues au transport des sédiments littoraux dans la région de Trois-Pistoles, estuaire du Saint-Laurent. Géographie physique et Quaternaire, 35 : 245-251.

Drapeau, G., 1992. Dynamique sédimentaire des littoraux de l'estuaire du Saint-Laurent. Géographie physique et Quaternaire, 46 : 233-242.

Dubois, J.-M.M, 1984. Diagnostic sur l'évolution de l'embouchure de l'estuaire de la rivière Nouvelle en Gaspésie, par photo-interprétation. Institut d'aménagement, Université de Sherbrooke, rapport pour le Ministère de l'Environnement du Québec, 15p.

Elkie, P., Rempel, R. et Carr, A., 1999. Patch analyst user's manual. Minister Natural Resource Northwest Science & Technology, Thunder Bay, Ontario, Tm-002.16p. + Appendice.

Environnement Canada, 2006a. La superficie et la fragmentation des milieux humides riverains du système Grands Lacs–Saint-Laurent. Disponible en ligne à http://www.qc.ec.gc.ca/csl/fich/fich001_003_f.html, page consultée le 5 juillet 2006.

Environnement Canada, 2006b. Portrait de la biodiversité du Saint-Laurent. Disponible en ligne à www.qc.ec.gc.ca/faune/biodiv, page consultée le 5 juillet 2006.

Fairbanks, R.G., Mortlock, A., Chiu, T.C., Cao, L., Kaplan, A., Guilderson, T.P., Fairbanks, T.W. et Bloom, A.L., 2005. Marine Radiocarbon Calibration Curve Spanning 0 to 50,000 Years B.P. Based on Paired ²³⁰Th/²³⁴U/²³⁸U and ¹⁴C Dates on Pristine Corals. *Quaternary Science Reviews*, 24: 1781-1796 .

Fournier, A., Allard, M. et Séguin, M. 1987. Typologie morpho-génétique des marelles du marais littoral de la baie de Kangiqsualujjuaq, estuaire du George, Québec nordique. *Géographie physique et Quaternaire*, 41 : 47-64.

Fritts, H.C., 2001. *Tree rings and climate*. Blackburn Press. Caldwell, N.J. USA. 567p.

Gagnon, M., 2002. Étude des caractéristiques biophysiques, des usages et du potentiel mycicole de six barachois du sud de la Gaspésie. Rapport de Biorex inc. à la Société de Développement de l'Industrie maricole (SODIM). 150 p.

Garneau, M., 1998. Paléoécologie d'une tourbière littorale de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, L'Isle-Verte, Québec. Commission géologique du Canada, Ottawa, Bulletin 514, 145p.

Gauthier, B. et Goudreau, M., 1983. Mares glacielles et non glacielles dans le marais salé de l'Isle-Verte, estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 37 : 49-66.

Giangioppi, M., 2004. Variation du trait de côte et impact géomorphologique des tempêtes dans la cellule sédimentaire de la flèche de Bouctouche, sur le littoral sud-est du Nouveau-Brunswick, entre 1945 et 2001. Thèse de maîtrise, Université de Moncton, 223p.

Gidas, N., 1976. Évaluation de certaines caractéristiques hydrodynamiques et sédimentologiques. Rivière Nouvelle. Ministère des Ressources Naturelles, Direction générale des eaux et de l'aménagement, Québec, 88p.

Giroux, J-F. et Bédard, J., 1987. Above and below-ground macrophyte production in *Scirpus* tidal marshes of the St. Lawrence estuary, Quebec. *Canadian Journal of Botany*, 66 : 955-962.

Gornitz, V., 1995. Sea-level rise: a review of recent past and near-future trends. *Earth Surface process landform*, 20 : 7-20.

Guzman M.D.C., 2003. Landscape dynamics of a coastal lagoonal system: Southern Sonora, Mexico. Thèse de maîtrise. Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, Mexico, 112p.

Halls, J.N. et Kraatz, L.M., 2006. A spatio-temporal assessment of back-barrier salt marsh change: a comparison of multirate aerial photography and spatial landscape indices. Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes", Enschede, the Netherlands, 8-11 May 2006, 53-58.

Hanson, A.R. (directeur de publication). 2006. Ecosystem impacts of sea-level rise and climate change on the coastal zone of south-eastern New Brunswick. Rapport technique n 463. Service canadien de la faune, Région de l'Atlantique, Sackville, Nouveau-Brunswick, Canada. 233 p.

Hatvany, M.G., 2003. Marshland: four centuries of environmental change on the shores of the St. Lawrence. Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, 184p.

Hétu, B., Bernatchez, P., Bouchard, J-D. et Fraser, C., 2006. Déglaciation et évolution du niveau marin relatif dans la région de Carleton, Gaspésie méridionale. *Bulletin de l'association québécoise pour l'étude du Quaternaire*, 32(2) : 9-10.

Hoadley, R.B., 1990. Identifying wood: accurate results with simple tools. Tauton Press, Newton, Connecticut.

Keddy, P.A., 2000. Wetland ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 614p.

Koohzare, A., Vaníček, P. et Santos, M., 2006. Compilation of the map of recent vertical crustal movements in eastern Canada using GIS. *Journal of Surveying Engineering, ASCE*, 132(4) : 160-167.

Lambert, M. et Larocque, A. 1999. Méthode d'analyse granulométrique : Extrait du bulletin de recherche no 82. Laboratoire de géographie physique, Département de

géographie et télédétection de l'Université de Sherbrooke, mis à jour le 1er novembre 1999, 28p.

Lebuis, J. et David, P.P., 1977. La stratigraphie et les événements du Quaternaire de la partie occidentale de la Gaspésie, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 31(3-4) : 275-296.

McGarigal, K. et Marks, B., 1995. Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report. PNW-GTR-351. Portland, Department of Agriculture, Forest service, Pacific Northwest Research Station, 122p.

Moran, C.A.A., 2003. Spatio-temporal analysis of Texas shoreline changes using GIS technique. Thèse de maîtrise, Texas A&M University, 106p.

Morin, R. 1981. Contribution à la sédimentologie de la région de Trois-Pistoles. Mémoire, Université du Québec à Rimouski, 118p.

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, UQAR, 170p. + annexes.

Orson, R., Warren, R.S. et Niering, W.A., 1998. Interpreting sea level rise and rates of vertical marsh accretion in a southern New England tidal salt marsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47 : 419-429.

Orson, R., Panageotou, W. et Leatherman, S.P., 1985. Response of tidal salt marshes of the U.S. Atlantic and Gulf coast to rising sea levels. *Journal of Coastal Research*, 1 : 29-37.

Parkhill, M. et Doiron, A. 2003. Quaternary geology of the Bathurst mining camp and implications for base metal exploration using drift prospecting. *Economic Geology*, 11 : 631-660.

Payette, S., Rochefort, L. (directeurs de publication) 2001. Écologie des tourbières du Québec-Labrador, Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec, 621p.

Pesca, 1995. Étude sédimentologique de la rivière Nouvelle, de la Petite rivière Nouvelle et du ruisseau Mann. Rapport préliminaire présenté à la Société de restauration et de gestion de la Nouvelle inc., 95p.

Pethick, J., 1984. An introduction to coastal geomorphology, London. 260p.

Plante, C., 2005. « Des marais et des hommes ». Nature et culture à l'Isle-aux-Grues, de l'époque amérindienne à aujourd'hui. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et géomatique, Université Laval, 265p.

Poulin, P., Pelletier, E. et Saint-Louis, R., 2007. Seasonal variability of denitrification efficiency in northern salt marshes : An exemple from the St. Lawrence Estuary. *Marine Environmental Research*, 63 : 490-505.

Prat, H., 1933. Les zones de végétation et les faciès des ravages de l'estuaire du Saint-Laurent, au voisinage de Trois-Pistoles. *Le Naturaliste canadien*, avril : 93-136.

Pringle, A.W., 1995. Erosion of cyclic saltmarsh in Morecambe Bay, north-west England. *Earth surface processes and landforms*, 20 : 387-405.

Pronke, A.G., Bobrowsky, P.T. et Parkhill, M.A., 1989. An interpretation of late Quaternary glacial flow indicators in the baie des Chaleurs region, northern New Brunswick. *Géographie physique et Quaternaire*, 43(2) : 179-190.

Quintin, C., Bernatchez, P. et Buffin-Bélanger, T., 2006. Géomorphologie et diversité végétale des marais du Cap Marteau et de l'Ilse-Verte, estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 60(2) : 149-164.

Rappol, M., 1989. Glacial history and stratigraphy of northwestern New Brunswick. *Géographie physique et Quaternaire*, 43(2) : 191-206.

Reed, D.J., 1989. Pattern of sediment deposition in subsiding coastal salt marshes, Terrebonne Bay, Louisiana : The role of winter storm. *Estuaries*, 12(4) : 222-227.

Renaud, L., 2000. Évolution et dégradation du barchois de Paspébiac. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, 123 p.

Roman, C.T., Peck, J.A., Allen, J.R., King, J.W. et Appleby, P.G., 1997. Accretion of a New England (U.S.A) salt marsh in response to inlet migration, storms, and sea-level rise. *Estuarine, coastal and Shelf Science*, 45 : 717-727.

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*, 35p.

Scott, D.B. et Greenberg, D.A., 1983. *Journal Earth Science*, 20 : 1554-1564.

Sérodes, J.B. et Dubé, M., 1983. Dynamique sédimentaire d'un estran à spartines (Kamouraska, Québec). *Le Naturaliste canadien*, 110 : 11-26.

Sérodes, J-B. et Troude, J-P., 1984. Sedimentation cycle of a fresh-water tidal flat in the St.Lawrence estuary. *Estuaries*, 7 : 117-125.

Sérodes, J.-B., Deschenes, J. et Troude, J.-P., 1985. Temps de submersion des marais à scirpe (*Scirpus americanus*) de l'estuaire du Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 12 : 119-129.

Service hydrographique du Canada, 2006. Marées, courants et niveaux d'eau. Disponible en ligne à <http://www.lau.chs-shc.dfo-mpo.gc.ca/>, page consultée le 20 août 2006.

Simas, T., Nunes, J.P. et Ferreira, J.G., 2001. Effects of global climate change on coastal salt marshes. *Ecological Modelling*, 139 : 1-15.

Stevenson, J., Ward, L. et Kearney, M.S., 1986. Vertical accretion in marshes with varying rates of sea level rise. *Estuarine variability*, 241-259.

Syvitski, J.P.M., 1992. Marine geology of baie des Chaleurs. *Géographie physique et Quaternaire*, 48(3) : 331-348.

Temmerman, S., Govers, G., Wartel, S. et Meire, P., 2004. Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation: response to changing sea level and suspended sediment concentrations. *Marine Geology*, 212 : 1-19.

Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Miller, T.L., 2003. User guide and tutorial for the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.2: Extension for ArcGIS v.9.0. USGS Open-File Report 2005-1304, 33p.

Tremblay, B., 2002. Les milieux humides côtiers du sud de la Gaspésie. Rapport présenté à la Société de la faune et des parcs du Québec et au ministère des Pêches et des Océans du Canada. Comité ZIP Baie des Chaleurs, Maria, 218p.

Troude, J.P. et Sérode, J.B., 1988. Le rôle des glaces dans le régime morphosédimentologique d'un estran de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 15 : 348-354

Troude, J.P. et Sérode, J.B., 1990. Caractéristiques hydrodynamiques d'un estran à forte sédimentation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17 : 148-155.

Van Proosdij, D., Ollerhead, J. et Davidson-Arnott, R.G.D., 2006. Seasonal and annual variations in the volumetric sediment balance of a macro-tidal salt marsh. *Marine Geology*, 225 : 103-127.

Verger F., 2008. Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer sur les côtes basses à marée. Disponible en ligne à <http://x.environnement.org/jr/JR02/verger.html>, page consultée le 30 juin 2008.

Ward, L.G., Kearney, M.S. et Stevenson, J.C., 1998. Variations in sedimentary environments and accretionary patterns in estuarine marshes undergoing rapid submergence, Chesapeake Bay. *Marine Geology*, 151 : 111-134.

Annexe 1. Caractéristiques des carottes échantillonnées.

<i>Carotte</i>	<i>Latitude (d°/dd)</i>	<i>Longitude (d°/dd)</i>	<i>Altitude (en m, 0 géodésique)</i>	<i>Longueur (cm)</i>
A	48,11	-66,29	0,55	43
B	48,11	-66,28	1,04	87
C	48,09	-66,270	1,23	98

Annexe 3. Taux de déplacement moyen (m/an) par période d'années des limites inférieures des marais à l'étude et de la limite interne de la flèche littorale.

Période	marge d'erreur (m/an) par rapport à l'orthophotographie de 2001 ¹	marge d'erreur (m/an) par rapport aux deux photographies aériennes de la période donnée ²	Flèche littorale Longueur du segment : 1293m Nombre de transects : 26		Marais (flèche) Longueur du segment : 447m Nombre de transects : 45		Marais (baie) Longueur du segment : 1563m Nombre de transects : 32	
			moyenne (m/an)	écart-type (m/an)	moyenne (m/an)	écart-type (m/an)	moyenne (m/an)	écart-type (m/an)
1934-2007	0,12	0,02	-0,65	0,48	-0,57	0,60	Nd*	Nd*
1934-2004	0,13	0,02	Nd*	Nd*	Nd*	Nd*	-0,91	1,67
1934-1950	0,75	0,18	-1,05	0,67	-0,23	0,67	-1,34	2,86
1950-1963	0,76	0,19	1,49	0,58	-0,92	0,72	-1,11	1,95
1963-1979	0,51	0,12	-2,04	2,02	0,03	0,22	1,58	1,56
1979-1993	0,48	0,14	0,02	1,09	0,06	0,15	0,44	1,19
1993-2001	0,62	0,18	-0,67	0,98	-0,23	0,48	-2,63	3,82
2001-2004	1,5	0,43	-1,90	4,83	1,09	0,62	-0,38	4,25
2004-2007	1,7	0,33	-1,20	1,54	1,20	0,38	Nd*	Nd*

Nd*. Données non disponible, car l'imagerie aérienne ne couvre pas le site à l'étude.

1. marge d'erreur = G1+G2+P1+P2+R où :

G1 : marge d'erreur moyenne des points d'ancrage suivant le géocodage de la photographie aérienne du temps 1 ;

G2 : marge d'erreur moyenne des points d'ancrage suivant le géocodage de la photographie aérienne du temps 2 ;

P1 : marge d'erreur associée à la justesse du positionnement lors de la cartographie, relativement à la qualité de la photographie du temps 1 (résolution et clarté du tirage) et l'habileté du cartographe ;

P2 : marge d'erreur associée à la justesse du positionnement lors de la cartographie, relativement à la qualité de la photographie du temps 2 (résolution et clarté du tirage) et l'habileté du cartographe ;

R : marge d'erreur inhérente à la résolution de l'orthophotographie (document utilisé pour réaliser le géocodage des photographies du temps 1 et du temps 2 à partir de points d'ancrage)

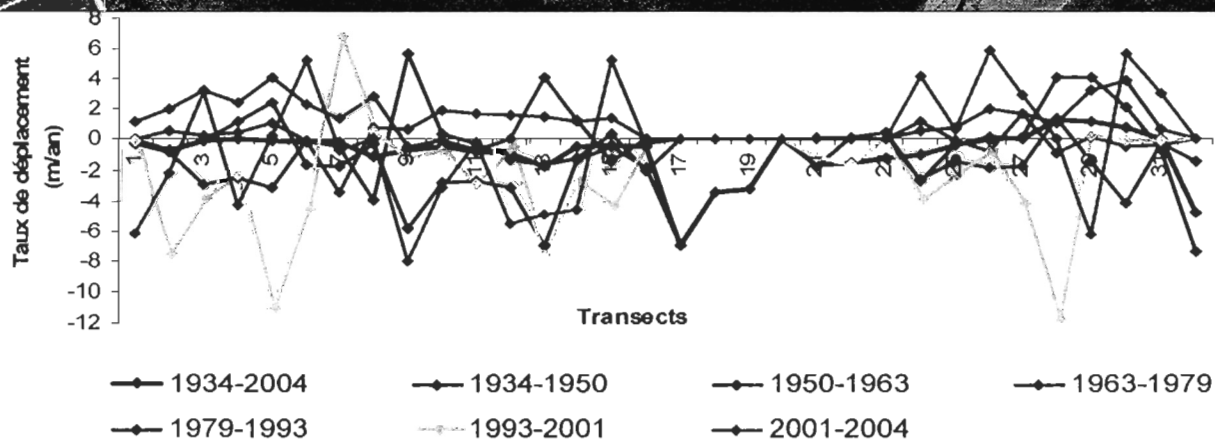
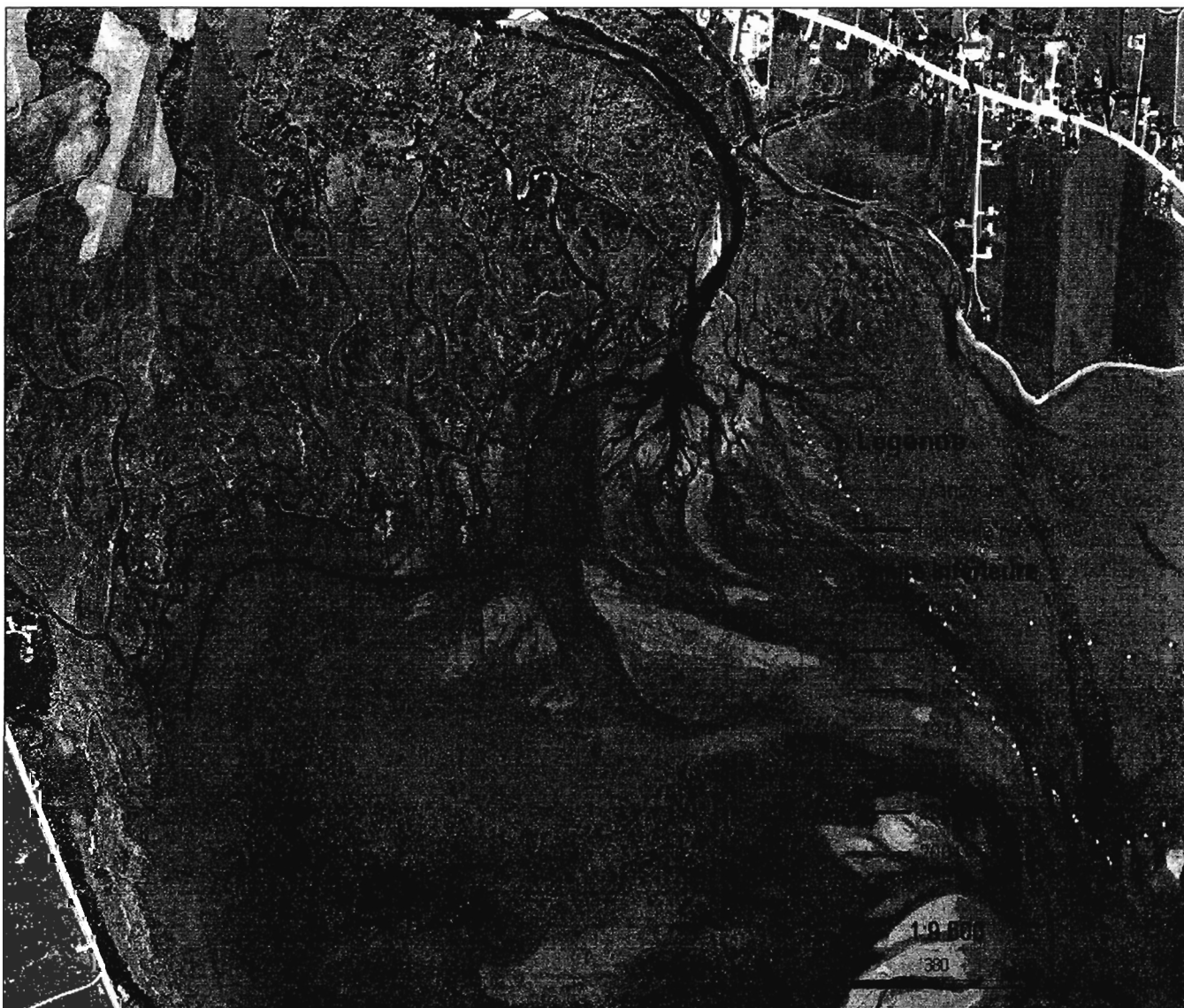
Pour obtenir la marge d'erreur moyenne annuelle, il suffit de diviser la marge d'erreur par le nombre d'années formant la période étudiée.

2. marge d'erreur associée aux deux photographies aériennes pour la période donnée.

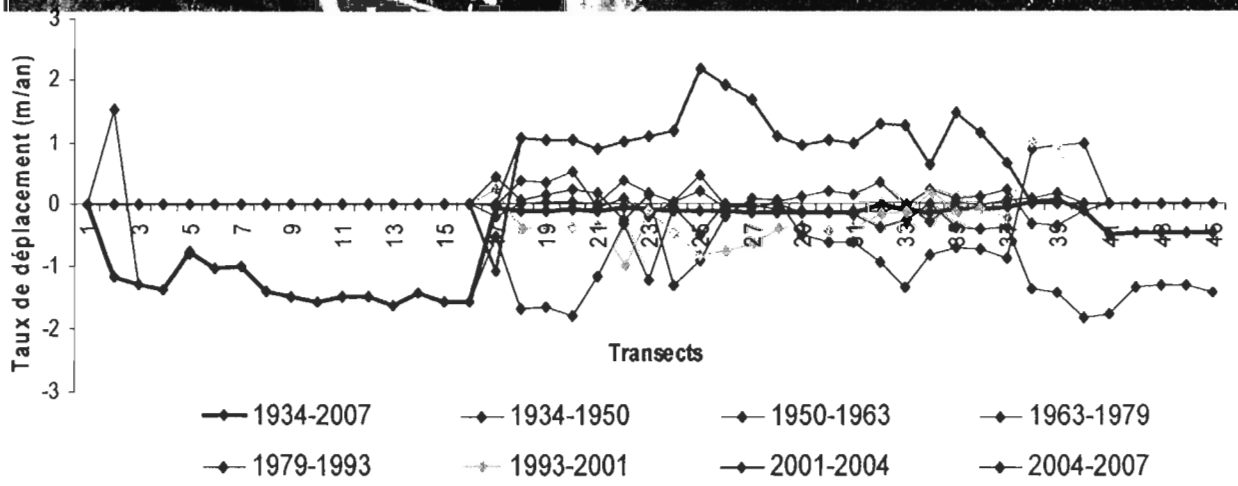
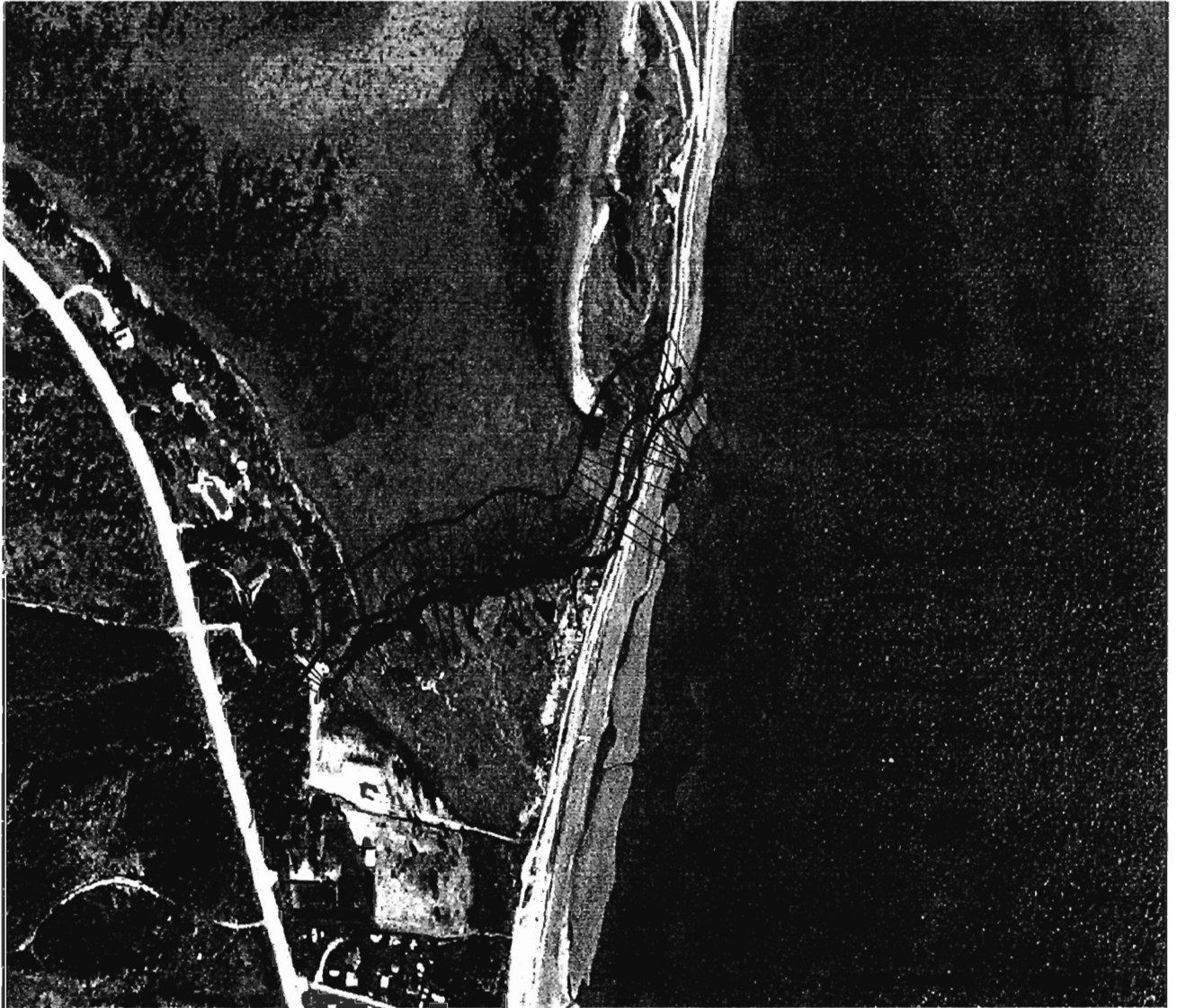
Pour obtenir la marge d'erreur moyenne annuelle, il suffit de diviser la marge d'erreur par le nombre d'années formant la période étudiée.

Les indicateurs linéaires retenus pour les analyses de la cartographie historique sont le déplacement de la limite entre le schorre inférieur et le schorre supérieur des marais et de la limite de la formation d'élyme des sables du côté lagune de la flèche littorale. La méthode du transect perpendiculaire au trait de côte générée par l'extension DSAS version 3.2. dans ArcView9.2 a été utilisée. Tout d'abord, le tracé de la limite des deux marais à l'étude et de la flèche littorale a été effectué dans un système d'information géographique (SIG) par l'interprétation des photographies aériennes de chacune des années. Les transects ont été positionnés en fonction de la longueur du segment de la flèche littorale et des deux marais. Ils ont été positionnés à intervalle de 50 m sur un segment de 1 563 m pour le marais de la baie et un segment de 1293 m pour la flèche littorale et un intervalle de 10 m sur un segment de 447 m pour le marais de la flèche littorale sud-ouest (annexe 3). Le déplacement a été calculé d'après la distance des intersections entre chacun des traits de côte sur le transect à partir d'une ligne de référence. Les transects qui n'interceptaient pas toutes les années n'ont pas été pris en considération dans les analyses. Les résultats sont présentés aux annexes 3 à 6.

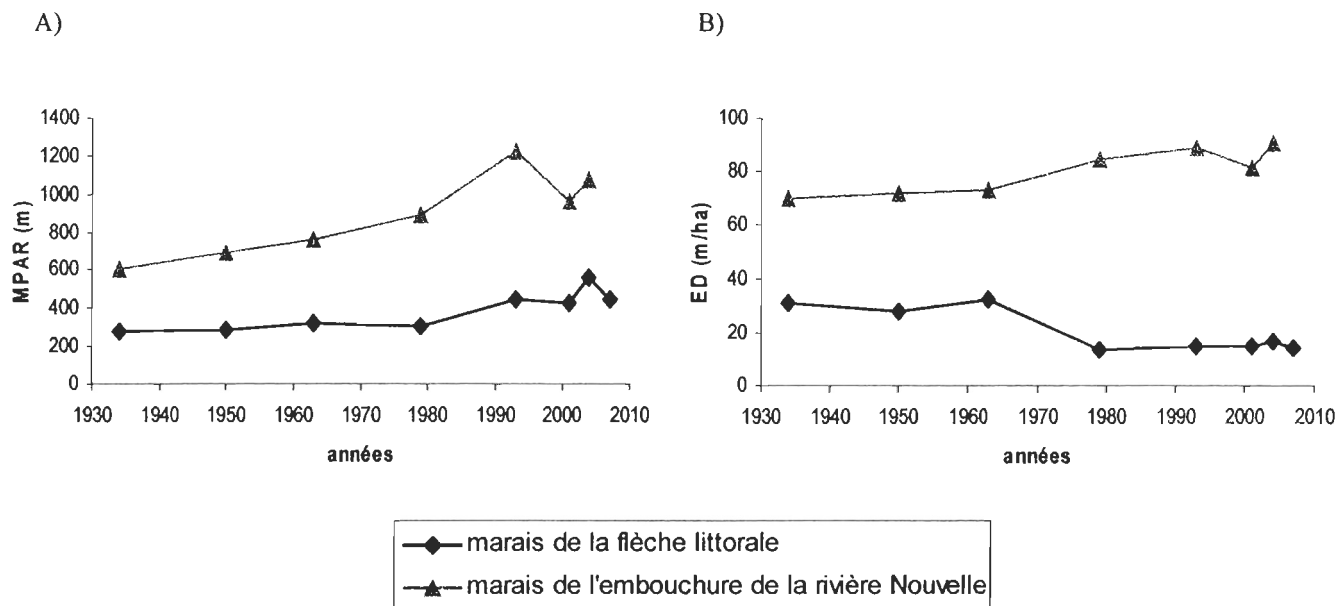
Annexe 5. Déplacement de la limite inférieure du schorre inférieur du marais situé à l'embouchure de la rivière Nouvelle.



Annexe 6. Déplacement de la limite inférieure du schorre inférieur du marais de la flèche littorale sud-ouest.



Annexe 7. Indicateurs de la structure du paysage retenus pour l'analyse cartographique historique du marais de la baie (entre 1934 et 2004) et de celui de la flèche littorale sud-ouest (entre 1934 et 2007). Ratio moyen périmètre-aire (MPAR) (A), densité de bordure (ED) (B).



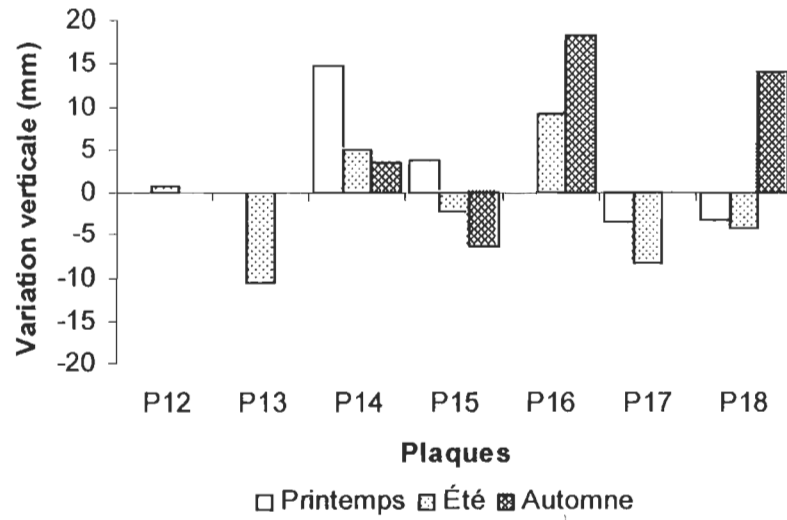
La quantification de l'évolution historique de la structure du paysage a été réalisée par l'extension de Arcview 9.2, Patch Analyst 4 (version beta). Deux indicateurs spatiaux ont été retenus afin d'observer les changements survenus durant les 73 dernières années. Ces indicateurs sont : le ratio périmètre-aire (MPAR) et la densité de bordure (ED). Le MPAR et la ED sont des indices de composition. Le MPAR représente le degré de complexité de la forme d'une tache et la ED représente la quantité de bordure relative dans la zone d'étude. Les résultats sont présentés à l'annexe 7.

Annexe 8. Caractéristiques des plaques à sédiments.

<i>Plaques</i>	<i>Latitude (d°/dd)</i>	<i>Longitude (d°/dd)</i>	<i>Partie du marais</i>	<i>Type de marais</i>
P12	48,09172341	-66,27268000	inférieure	Flèche
P13	48,09174528	-66,27265921	inférieure	Flèche
P14	48,10025308	-66,29799686	inférieure	Baie
P15	48,10020841	-66,29808186	inférieure	Baie
P16	48,10881260	-66,29611488	inférieure	Baie
P17	48,10893447	-66,29624689	inférieure	Baie
P18	48,10893313	-66,29624655	inférieure	Baie

Afin de mesurer la variation verticale des marais sept horizons repères (plaques en aluminium de 20 cm X 20 cm et 3 mm d'épaisseur) ont été installés dans le schorre inférieur des marais à l'étude à l'été 2006. Chaque horizon repère a été placé à 10 cm de profondeur sous la surface en effectuant une tranchée dans le marais. Les sites ont été géoréférencés (annexe 8). Les mesures ont été prises à tous les trois mois jusqu'à ce que le couvert de glace s'installe afin de mesurer la variation saisonnière des données compilées. Les résultats sont présentés à l'annexe 9.

Annexe 9. Variation verticale estimée à partir des mesures prise à l'aide des plaques à sédiment durant l'année 2006 à 2007.



Annexe 10. Caractéristiques des datations par spectrométrie de masse.

<i>Carotte</i>	<i>Latitude (d°dd)</i>	<i>Longitude (d°dd)</i>	<i>Altitude (m) (0géod.)</i>	<i>Datation BP</i>	<i>Datation calibrée ***</i>	<i>Type de matériel</i>	<i>Université Laval</i>	<i>Université de Californie</i>					
A (Baie)	48,11	-66,29	0,55*	Moderne**		Plante	ULA-396	UCIAMS-39013					
			1,04*										
B (Baie)	48,11	-66,28	0,91	Moderne**		Plante	ULA-394	UCIAMS-39011					
			0,77						95 BP ±25	Vers 100 ans	Plante	ULA-605	UCIAMS-47287
C (Flèche)	48,09	-66,27	1,23*	385 BP ±20	465 ±39	Plante	ULA-604	UCIAMS-47286					
			0,94						430 BP ±15	498 ±9	Plante	ULA-391	UCIAMS-37129
			0,77										
			0,25	595 BP ±20	591 ±32	Plante	ULA-601	UCIAMS-47284					

* Altitude à la surface actuelle à laquelle la carotte a été prélevée.

** Correspond à une date supérieure à 1960.

*** Datation calibrée selon le modèle de Fairbanks (2005)

