

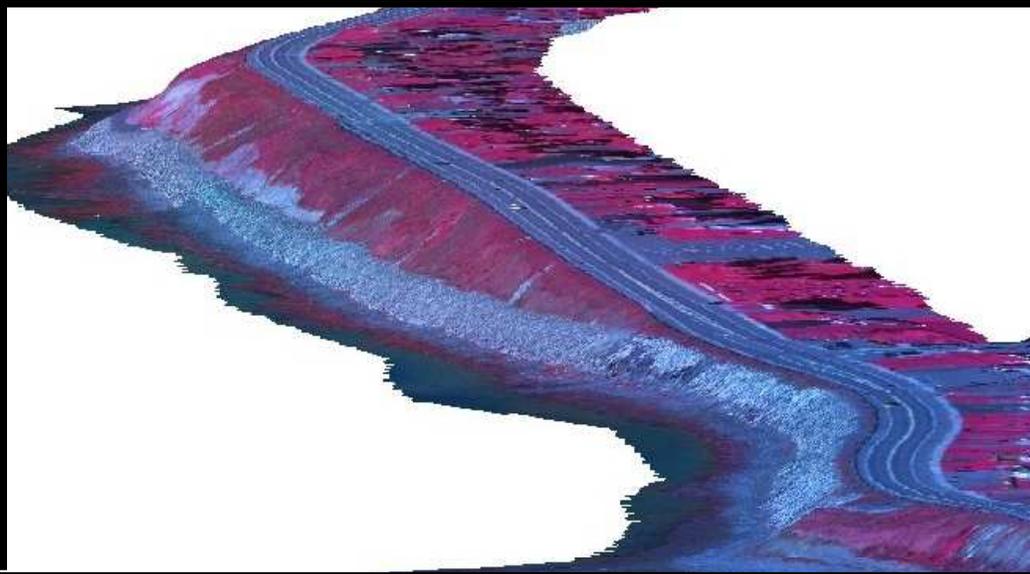
Rapport synthèse d'une étude comparative, pré- et post-enrochement, des écosystèmes côtiers du secteur de St-Siméon, Baie-des-Chaleurs.

Relevés 2006 et 2007

Présenté au
ministère des Transports du Québec

Sous la direction de
M. Pascal Bernatchez, Ph.D.
et
M. Christian Nozais, Ph.D.

Avril 2009



Direction

Pascal Bernatchez, Ph.D. Géomorphologie côtière et télédétection

Responsable du projet

Professeur titulaire de la Chaire de recherche du Canada en géosciences côtières

Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières

Département de biologie, chimie et géographie

Université du Québec à Rimouski

300, allée des Ursulines

Rimouski (Québec)

G5L 3A1, Canada

Téléphone : (418) 723-1986 #1206

Courriel : pascal_bernatchez@uqar.qc.ca

Christian Nozais, Ph.D. Écologie benthique

Responsable du projet

Professeur-chercheur

Laboratoire d'écologie des systèmes aquatiques

Département de biologie, chimie et géographie

Université du Québec à Rimouski

300, allée des Ursulines

Rimouski (Québec)

G5L 3A1, Canada

Téléphone : (418) 723-1986 #1589

Courriel : christian_nozais@uqar.qc.ca

Analyse, recherche et rédaction

Pascal Bernatchez, Ph. D. Géomorphologie côtière et télédétection,

Professeur titulaire de la Chaire du Québec en géosciences côtières, Université du Québec à Rimouski

Myriam Coutu, biologiste

Professionnelle de recherche

Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières

Département de biologie, chimie et géographie

Université du Québec à Rimouski

Anne-Marie Leclerc, géographe

Étudiante à la maîtrise en géographie

Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières

Département de biologie, chimie et géographie

Université du Québec à Rimouski

Collaborateurs(trices)

Cartographie

Steeve Dugas
Isabelle Paquin
Jérémy Guay
Isabel Lemus-Lauzon

Relevés de terrain

Cynthia Guay
Christian Fraser
Étienne Bachand
Michel Grégoire
Isabelle Paquin
Catherine Denis
Pierre Simard
David Gagné
Catherine Nozais

Analyses en laboratoire

Cynthia Guay
Louis Pître
Philippe Bois
Isabel Lemus-Lauzon
Charles Tremblay

RÉFÉRENCE COMPLÈTE

Coutu, M., P. Bernatchez, A.-M. Leclerc et C. Nozais, 2008. *Rapport synthèse de l'étude comparative, pré- et post-enrochement, du secteur de St-Siméon, Baie-des-Chaleurs*. Rapport présenté au ministère des Transports du Québec. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, 36 pp.

Page couverture

En haut : modèle d'élévation de terrain du secteur de Saint-Siméon, vu vers l'ouest (réalisation : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR). En bas à gauche : trouée non enrochée et falaise en érosion active, Saint-Siméon, juin 2006 (photo : Anne-Marie Leclerc). En bas à droite : enrochement réalisé en 2007, à Saint-Siméon, à la hauteur du viaduc du boulevard Perron Ouest, juillet 2007 (photo : Anne-Marie Leclerc).

Table des matières

Table des matières.....	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux.....	iv
1. Introduction.....	1
1.1 Mise en contexte du mandat	1
1.2 Objectifs et présentation du rapport.....	1
1.3 Problématique de recherche.....	2
1.4 Localisation de la zone d'étude.....	4
2. Méthodologie	7
2.1 Évolution historique de la zone côtière par télédétection	7
2.1.1 Caractéristiques des photographies aériennes utilisées et procédés d'intégration dans un SIG	7
2.1.2 Développement des modèles d'élévation de terrain à partir des données Lidar	8
2.1.3 Paramètres analysés	8
2.1.3.1 Le trait de côte et la ligne de rivage.....	8
2.1.3.2 Largeur de la plage.....	9
2.1.3.3 Artificialité.....	9
2.2 Caractérisation écosédimentologique sur le terrain	9
2.2.1 Définition et terminologie de la zone côtière.....	9
2.2.2 Inventaire biophysique et stratégies d'échantillonnage	11
2.2.2.1 Topographie à l'aide du DGPS	11
2.2.2.2 Approche par transect et parcelle d'échantillonnage	11
2.2.2.3 Échantillonnage granulométrique	12
2.2.2.4 Échantillonnage du microphytobenthos et de la méiofaune	13
2.2.2.5 Échantillonnage de la macrofaune	13
2.3 Analyse en laboratoire	14
2.3.1 Granulométrie	14
2.3.2 Teneur en matière organique	14
2.3.3 Microphytobenthos	14
2.3.3.1 Extraction des pigments chlorophylliens.....	14
2.3.3.2 Biomasse microphytobenthique.....	15
2.3.4 Méiofaune	15
2.3.5 Macrofaune	16
2.4 Analyses statistiques	16
2.4.1 Granulométrie	16
2.4.2 Statistiques descriptives (microphytobenthos, méio- et macrofaune)	17
2.4.3 Comparaison entre les années.....	17
2.4.3.1 Variables physiques et biologiques.....	17
2.4.3.2. Structure des communautés	18
2.4.4 Relation entre les variables	18

3. Influence des perturbations anthropiques sur les plages de la région de Saint-Siméon - Bonaventure	19
3.1 Évolution historique de la ligne de rivage des systèmes côtiers (à l'échelle de l'unité hydrosédimentaire)	19
3.2 Influence des perturbations anthropiques sur l'évolution des plages du secteur de Saint-Siméon (secteur B, Figure 6)	21
4. Comparaison des caractéristiques biophysiques entre 2006 et 2007	25
4.1 Présentation générale du secteur de Saint-Siméon (variables physiques et biologiques)...	25
4.2 Structure des communautés	29
4.3 Relation entre les variables	29
4.4 Synthèse des résultats de l'inventaire biophysique - secteur Saint-Siméon	30
5. Conclusion et recommandations	33
5.1 Synthèse des principaux résultats	33
6. Références	36

Liste des figures

Figure 1. Localisation du secteur d'étude global, du havre de Caplan-Saint-Siméon à l'ouest à la Pointe Bonaventure, à l'est.	5
Figure 2. Localisation de la zone d'étude (secteur de Saint-Siméon), située entre le havre de Caplan à l'ouest et la rivière Saint-Siméon à l'est.	6
Figure 3. Terminologie et subdivisions de la zone côtière.	10
Figure 4. Méthode d'échantillonnage; transect perpendiculaire au trait de côte et quadrats en avant-plan (flèches).....	12
Figure 5. Localisation des secteurs d'étude, type de côte et taux de déplacement par type de côte (Saint-Siméon / Bonaventure).....	20
Figure 6. Évolution côtière historique du secteur de Saint-Siméon.....	22
Figure 7. Enrochement implanté à l'automne 2006 dans le secteur de Saint-Siméon. La plage disparaît presque complètement à marée haute.	23
Figure 8. MNE et profil du littoral du secteur enroché de Saint-Siméon, 2007.	24
Figure 9. Densité absolue des taxons méiofauniques et des espèces macrobenthiques pour les deux années d'échantillonnage dans le secteur de St-Siméon.	28

Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des couvertures de photographies aériennes utilisées	7
Tableau 2. Répartition de l'effort d'échantillonnage de la zone intertidale du secteur de St-Siméon en comparaison à la zone d'étude globale.	12
Tableau 3. Valeurs moyennes (moy.±écart-type) des variables environnementales et biologiques du secteur de St-Siméon, pré- (2006) et post-enrochement (2007), par type de côte (A = artificielle, N = naturelle).....	25
Tableau 4. Résultats des analyses de variance à deux facteurs croisés (année - 2006 et 2007, et type de côte - artificielle et naturelle), sur certaines variables environnementales et biologiques des stations intertidales du secteur de Saint-Siméon ^a (degrés de liberté = 3). ..	26
Tableau 5. Résultats des tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis à un facteur (année ou type de côte) sur certaines variables environnementales et biologiques par type de côte (A = artificielle, N = naturelle) ou par année (2006 ou 2007) des stations intertidales du secteur de St-Siméon ^a	26
Tableau 6. Valeurs de <i>R</i> des analyses de similarités (ANOSIM) sur les communautés benthiques méio- et macrofauniques, des stations intertidales échantillonnées en 2006 et 2007, en côte naturelle et artificielle, du secteur de St-Siméon.	29
Tableau 7. Corrélations de Pearson des variables physiques et biologiques du secteur de Saint-Siméon ^a , pour les deux années et types de côte regroupés.	29

1. Introduction

Devant l'érosion active des falaises et des terrasses de plages, le ministère des Transports du Québec (MTQ) ont eu le désir de mettre en place des ouvrages de protection et de procéder à la réfection des structures endommagées pour assurer la pérennité de la route 132. Des travaux ont eu lieu à l'automne 2006, 2007 et 2008. Dans ce cadre, le MTQ a mandaté l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) pour évaluer l'impact de ces infrastructures sur les écosystèmes côtiers (Bernatchez et Nozais, 2006). Cette étude fait partie du programme de suivi environnemental concernant le projet de protection de la route 132, le long des municipalités de Saint-Siméon et de Bonaventure, dans la baie des Chaleurs, en Gaspésie (Morneau *et al.*, 2001).

1.1 Mise en contexte du mandat

D'une durée de deux ans (2006-2008), le mandat consistait à :

- 1) dresser l'évolution historique de la dynamique des systèmes côtiers et évaluer les causes naturelles et anthropiques qui régissent leur évolution;
- 2) établir un niveau de référence avant enrochement des caractéristiques sédimentologiques, géomorphologiques, végétales et biologiques benthiques de la zone intertidale;
- 3) établir les liens entre le type de substrat et la répartition des populations biologiques benthiques;
- 4) réaliser une cartographie zonale de la répartition des habitats et des espèces dominantes;
- 5) déterminer l'impact potentiel de l'empierrement sur la morphosédimentologie du secteur ainsi que sur l'habitat des populations benthiques de la zone intertidale.

1.2 Objectifs et présentation du rapport

Un rapport préliminaire visant à présenter le cadre méthodologique du projet et l'état de référence du milieu biophysique a été remis en juin 2007 (voir Leclerc *et al.*, 2007). Le rapport final, complété à l'été 2008, visait à vérifier les différences possibles entre les populations benthiques retrouvées dans les sites échantillonnés devant les ouvrages de protection ainsi qu'en zone dite naturelle (Leclerc *et al.*, 2008). L'étagement (haut et bas estran) ainsi que des facteurs biotiques étaient également pris en compte en tant que facteurs discriminants.

Le présent rapport vise à synthétiser les résultats des deux précédents rapports, et ce, principalement pour le secteur de Saint-Siméon, où a eu lieu l'implantation d'un ouvrage de protection en 2007. Ce secteur sera analysé en lien avec l'ensemble des résultats obtenus pour toute la zone d'étude visitée. Les deux années d'échantillonnage (2006 et 2007) seront comparées.

1.3 Problématique de recherche

Les systèmes côtiers sont des entités en équilibre dynamique en regard des facteurs hydrodynamiques, sédimentaires et géomorphologiques (Cooper et Pethick, 2005). Toutefois, cet équilibre est fragile, comme en témoigne l'érosion sévère qui affecte les différentes régions côtières du monde (Bird, 1985; Komar, 1998; Paskoff, 2001; Stone et Orford, 2004). Au Québec, un bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion côtière montre que le recul du littoral dans les formations meubles varie généralement entre 0,5 et 2 m/an avec une accélération récente du phénomène (Bernatchez et Dubois, 2004). Les données actuelles indiquent que 65 % des côtes de formation meuble de la Côte-Nord sont actives. Pour la rive sud du Saint-Laurent, la Baie-des-Chaleurs et les Îles-de-la-Madeleine, la proportion de côtes actives est de 57 %, 62 % et 68 %, respectivement (Bernatchez, 2006).

Parallèlement, dans un contexte de changements climatiques, on assiste actuellement, dans plusieurs régions côtières du monde, à une hausse du niveau marin relatif (GIEC, 2001). La hausse globale du niveau des océans a été de 1 à 2 mm/an depuis un siècle (Gornitz, 1995; Woodworth *et al.*, 1999; Mörner, 2004) et de 3,1 mm/an depuis la dernière décennie (GIEC, 2007). L'une des conséquences de cette hausse du niveau marin relatif est non seulement l'accélération de l'érosion des berges, mais aussi l'augmentation de la fréquence de la submersion côtière et l'accélération du déficit sédimentaire (Daigle *et al.*, 2006). C'est plus particulièrement le cas des secteurs où l'apport sédimentaire n'est pas suffisant pour palier à la hausse du niveau marin relatif, comme par exemple, les environnements à falaises rocheuses.

Dans les milieux urbanisés, la réponse à cette recrudescence de l'érosion côtière est la mise en place d'ouvrages de protection et l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent ne sont pas épargnés (Bernatchez et Dubois, 2004). En 2001, 55% des 112 km de côte artificialisée de la Gaspésie étaient caractérisés par des ouvrages conçus spécifiquement pour la route 132 (Morneau *et al.*, 2001). Or, ces ouvrages de protection du littoral viennent souvent amplifier le déséquilibre des systèmes côtiers (Bernatchez *et al.*, 2008). À l'extérieur du Québec, plusieurs recherches se sont penchées sur les modifications géomorphologiques causées par l'artificialité du littoral.

Le déficit sédimentaire est un des impacts majeurs touchant ces côtes (Gabriel et Terich, 2005), notamment parce que les structures bloquent une source sédimentaire pour les plages en aval de la dérive littorale (Kraus, 1988 ; Kraus, 1996). Plus important encore, ces infrastructures peuvent provoquer un affouillement devant et à proximité de celles-ci (Bateni et Jeng, 2006), provoquant également un déficit sédimentaire. Cela a pour effet d'augmenter la vitesse du transit sédimentaire sur le littoral par la réflexion des vagues sur les structures et par l'augmentation du temps de submersion des plages. À moyen terme, les effets cumulés peuvent résulter en une modification du substrat contrôlé par le contexte stratigraphique ainsi qu'en une augmentation locale du niveau relatif de l'eau (Walkden et Hall, 2005). Dans un contexte de changements climatiques, il est probable que l'impact des ouvrages de protection sur le milieu côtier soit accentué par la hausse du niveau marin (Cowell *et al.*, 2006).

Dans un autre ordre d'idées, le lien entre les paramètres morphodynamiques des environnements côtiers et la distribution des espèces fauniques et floristiques intertidales est bien connu (Brazeiro, 2001). En ce sens, les infrastructures anthropiques ainsi que la hausse du niveau marin, en agissant sur les paramètres hydrodynamiques, géomorphologiques et sédimentologiques, exercent une pression sur les écosystèmes côtiers (Daigle *et al.* 2006). Parmi ces stress, on compte deux modifications majeures aux habitats. Ce sont les changements dans la texture du substrat et dans la contrainte spatiale imputée au rétrécissement de la zone intertidale (l'estran) au pied des enrochements (Jolicoeur et O'Carroll, 2007). Cela peut s'expliquer par le fait que ces structures rigides empêchent l'adaptation des habitats par la migration naturelle des systèmes côtiers vers l'intérieur des terres.

La méiofaune (invertébrés <0,5 mm) et la macrofaune (invertébrés >0,5 mm) benthiques représentent des composantes biologiques importantes de l'écosystème benthique côtier. Elles peuvent soit être exploitées directement par l'homme (c'est le cas de certains mollusques et crustacés), soit jouer un rôle intermédiaire entre les producteurs primaires (microphytobenthos) et d'autres espèces exploitées, puisqu'ils constituent notamment la source de nourriture de nombreux poissons côtiers.

Malgré cet état de fait, peu d'études ont documenté l'effet cumulé des ouvrages de protection et du déficit sédimentaire sur la faune benthique des plages aux matériaux grossiers (graviers, galets et blocs) des zones tempérées froides, comme c'est le cas du secteur de Saint-Siméon, dans la Baie des Chaleurs. En 2006, le secteur d'étude de Saint-Siméon - Bonaventure a fait l'objet d'une étude hydrodynamique, sédimentologique et biologique par Long (2006). Or, aucune comparaison entre des sites avec et sans enrochements n'a été réalisée. Il est donc impossible de connaître les particularités éco-sédimentologiques des sites où l'on retrouve des

structures de protection du littoral. Nous croyons qu'une étude s'intéressant d'une part aux effets des ouvrages de protection du littoral et du déficit sédimentaire sur les habitats benthiques comblera une partie des lacunes scientifiques. Une telle étude, menée à l'échelle d'une unité hydrosédimentaire, permettra d'améliorer la compréhension de la réponse des écosystèmes face aux perturbations naturelles et anthropiques.

Face à ces enjeux, le secteur de Saint-Siméon – Bonaventure, dans la Baie des Chaleurs, est un site d'étude privilégié. En effet, il a fait l'objet de plusieurs mesures de protection du littoral le long de la route 132. De plus, il présente une variété d'écosystèmes fragiles au substrat meuble, dont des bancs coquilliers, qui sont des ensembles productifs au niveau biologique et où la nature du substrat influence directement l'abondance des bivalves. On retrouve également à proximité un herbier de zostère marine et des marais côtiers, des écosystèmes ayant possiblement une importance écologique encore plus grande, de par leur rôle d'aire de reproduction, de fraie, d'élevage et d'alimentation pour plusieurs espèces animales (Adam, 1990; Keddy, 2000; Lazzari, 2002; Polte *et al.*, 2005; Joseph *et al.*, 2006).

1.4 Localisation de la zone d'étude

La figure 1 montre la localisation de l'ensemble de la zone visitée lors des campagnes de terrain de 2006 et 2007. Celle-ci est délimitée à l'ouest par le havre de Caplan-Saint-Siméon et à l'est par la Pointe Bonaventure. Ces limites sont incluses à l'intérieur d'une même unité hydrosédimentaire primaire. En ce sens, on considère que les structures anthropiques ou naturelles majeures bloquent l'apport sédimentaire des zones adjacentes. Cependant, ce rapport présente principalement les analyses effectuées pour le secteur de Saint-Siméon, situé entre le havre de Caplan à l'ouest et la rivière Saint-Siméon à l'est (Figure 2).

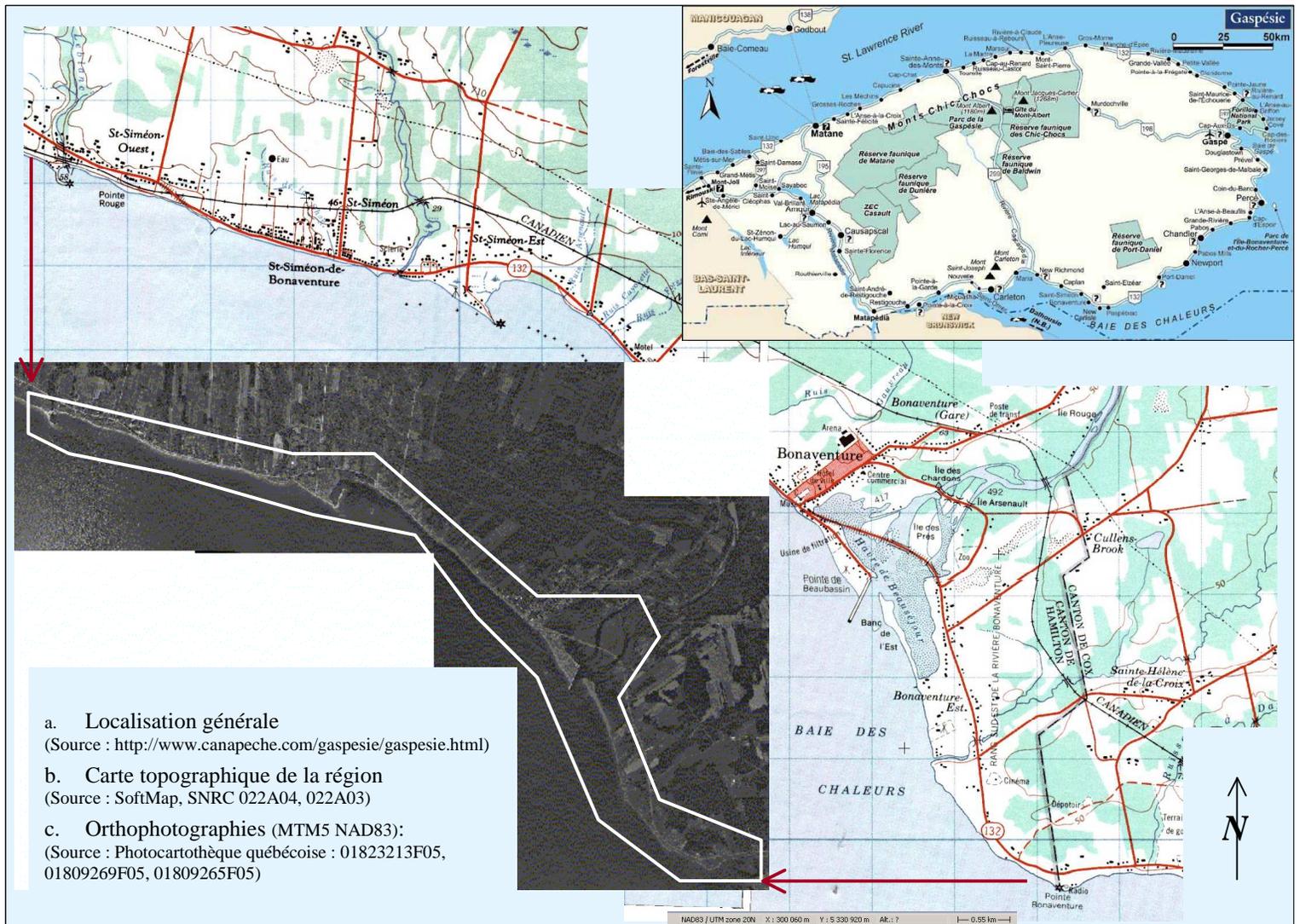


Figure 1. Localisation du secteur d'étude global, du havre de Caplan-Saint-Siméon à l'ouest à la Pointe Bonaventure, à l'est.



Figure 2. Localisation de la zone d'étude (secteur de Saint-Siméon), située entre le havre de Caplan à l'ouest et la rivière Saint-Siméon à l'est.

2. Méthodologie

Le cadre méthodologique détaillé ayant été décrit dans les rapports précédents (Leclerc *et al.*, 2007, 2008), nous présentons ici seulement les grandes lignes de la méthodologie.

2.1 Évolution historique de la zone côtière par télédétection

2.1.1 Caractéristiques des photographies aériennes utilisées et procédés d'intégration dans un SIG

Le tableau 1 présente la liste des couvertures de photographies aériennes qui ont été utilisées pour analyser l'évolution historique du secteur de Saint-Siméon.

Tableau 1. Liste des couvertures de photographies aériennes utilisées

Type de photographie aérienne	Échelle	Année d'acquisition
Tons de gris	1:15 000	1934
Tons de gris	1:15 840	1963
Infrarouge couleur	1:15 000	1986
Infrarouge couleur	1:15 000	1992
Ortho. tons de gris numérique	1:40 000	2001
Couleur visible numérique	1:16 000	2006
Infrarouge couleur numérique	1:57 142	2006
Couleur visible numérique	1:16 000	2007
Infrarouge couleur numérique	1:57 142	2007

Les images multispectrales acquises en 2007 ont été mosaïquées de manière automatisée à l'aide du logiciel *C3D Mosaic 4.2* (Geo 3D, Trimble Navigation Limited). Les mosaïques ont été orthorectifiées à partir des données Lidar. Ces mosaïques ont ensuite été intégrées dans le système d'information géographique ArcGis 9.2. (licence ArcEditor, ESRI inc., 2006) et ont servi de base pour le géopositionnement des photographies aériennes historiques. Pour chacune des couvertures de photographies aériennes, le trait de côte, la ligne de rivage et la flexure de la plage ont été tracés. Le logiciel *Digital Shoreline Analysis System* (Thieler *et al.*, 2005), développé par la Commission géologique des États-Unis (USGS), a été utilisé pour le calcul de l'évolution du littoral et de la largeur des plages. Ce logiciel a permis de générer de manière automatique des transects aux 50 m qui recoupent de manière perpendiculaire les différents traits tracés sur chaque couverture de photographies aériennes. L'écart entre chacun des tracés est ensuite calculé par année, ce qui génère une base de données sur l'évolution historique de la

ligne de rivage et de la largeur des plages. Une validation a ensuite été réalisée pour chacun des transects. Lorsque les mesures automatisées dépassaient la marge d'erreur, elles ont été rejetées et non utilisées.

2.1.2 Développement des modèles d'élévation de terrain à partir des données Lidar

Les données Lidar ont été utilisées pour générer un modèle altimétrique numérique (MAN), ou *digital elevation model* (DEM) à l'aide d'ArcGIS. Ces données ont été acquises en simultanément avec les données d'imagerie à l'aide du SAIGA-3D (voir Leclerc *et al.*, 2007). Ces données permettent d'établir des volumes sédimentaires et de définir des bilans sédimentaires.

2.1.3 Paramètres analysés

L'évolution historique de la côte permet de quantifier le rythme de déplacement du trait de côte et de la ligne de rivage des différents types de systèmes côtiers et de définir les volumes de sédiments provenant de l'érosion des falaises qui alimentent la zone côtière.

Dans un tel cadre, l'analyse de paramètres hydrogéomorphologiques est primordiale dans l'analyse des effets de l'artificialité sur les écosystèmes côtiers, d'autant plus que plusieurs segments de côte de la zone d'étude ont été artificialisés au cours des dernières décennies. L'état actuel des écosystèmes et la répartition spatiale de leurs caractéristiques biophysiques sont donc l'héritage des effets cumulés des processus naturels et anthropiques. Pour bien comprendre le fonctionnement des écosystèmes et envisager leur évolution future, nous avons quantifié l'évolution historique selon différents paramètres, dont le trait de côte, la ligne de rivage, la largeur des plages et l'artificialité (Leclerc *et al.*, 2007).

2.1.3.1 Le trait de côte et la ligne de rivage

Le trait de côte utilisé pour établir l'évolution historique des systèmes côtiers dépend d'abord du type de côte. Pour les côtes à falaise et à microfalaise, le sommet du talus a été utilisé (trait de côte au sens strict), alors que pour les côtes sans falaise, la limite des hautes mers maximales a été utilisée (ligne de rivage au sens strict). Cette dernière limite correspond généralement à la limite de la végétation herbacée. En effet, celle-ci est assez constante et stable et constitue généralement la meilleure limite à utiliser pour les côtes sans falaises (plage, dune, flèche littorale) (Grenier et Dubois, 1992). Dans le cas où ces derniers types de côte sont artificialisés, la limite supérieure des ouvrages de protection est utilisée.

2.1.3.2 Largeur de la plage

La largeur de la plage est mesurée de la ligne de rivage à la flexure de la plage, ce qui correspond généralement à une modification du type de substrat et de la pente de la plage au sens large. La flexure est généralement située immédiatement sous le niveau moyen de la mer et correspond à la limite entre le haut et le bas estran. L'évolution de la largeur de plage est un excellent indicateur du bilan sédimentaire d'une côte et de son état d'équilibre.

2.1.3.3 Artificialité

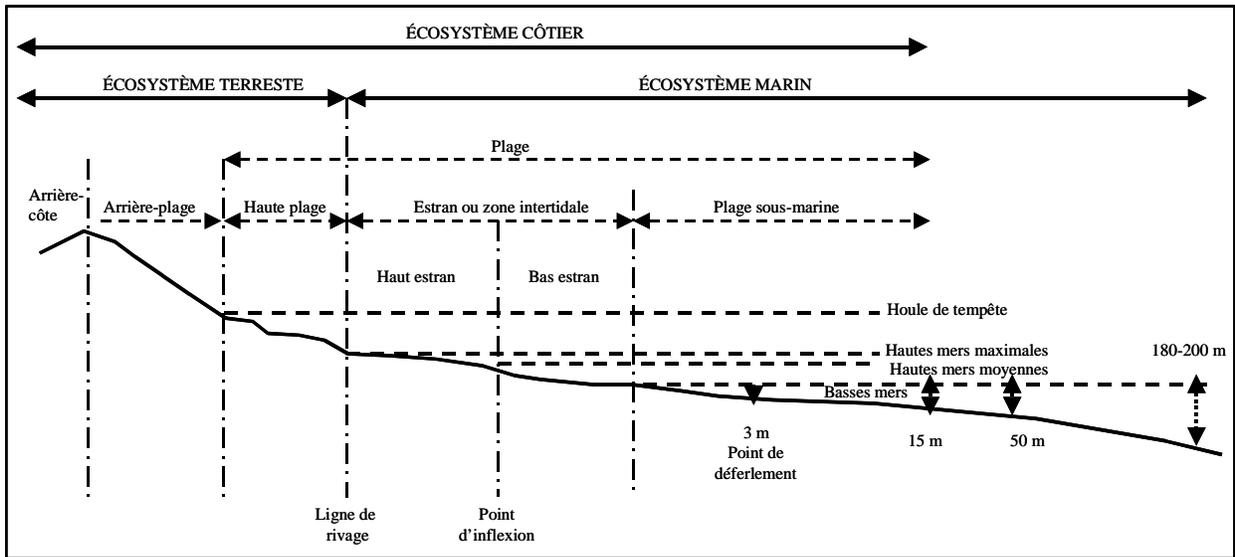
La cartographie des structures de protection et des infrastructures portuaires a permis de dresser l'évolution historique de l'artificialité et d'évaluer son influence sur la dynamique sédimentaire de la zone côtière.

2.2 Caractérisation écosédimentologique sur le terrain

2.2.1 Définition et terminologie de la zone côtière

La figure 3 montre les divisions de la zone côtière généralement utilisées pour les côtes de faible dénivelé (terrasse de plage, flèche littorale, dune, tombolo, etc.) et les côtes à falaises.

a) Division de la zone côtière pour une côte sans falaise



b) Division de la zone côtière pour une côte à falaise

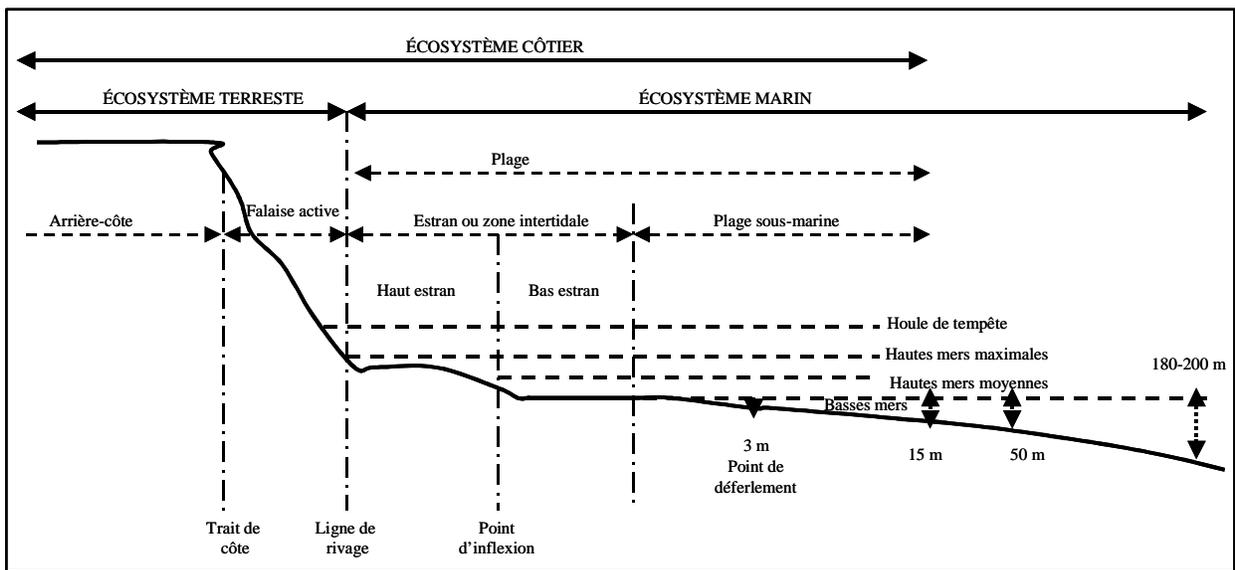


Figure 3. Terminologie et subdivisions de la zone côtière.

2.2.2 Inventaire biophysique et stratégies d'échantillonnage

Dans un contexte de suivi de la dynamique côtière, il est important d'établir des sites de mesures fixes dans l'espace de manière à observer la variation temporelle du milieu. Un des moyens les plus utilisés dans ce genre d'étude est le suivi par profils de plage, du trait de côte au bas estran, au moyen de transects perpendiculaires à la côte. Tandis que l'analyse du tracé des profils de plage nous renseigne sur les variations topographiques, des stations d'échantillonnages placées le long de ce transect permettent de caractériser l'habitat en fonction de ses paramètres physiques (substrat, élévation, etc.) et biologiques (microphytobenthos, méio- et macrofaune).

2.2.2.1 Topographie à l'aide du DGPS

Pour évaluer la variation topographique, un profil de plage a été effectué le long des transects au moyen d'un DGPS ProMark3 de Thales. La précision de cet outil est de 5 cm à l'horizontale et de 10 cm à la verticale. Des levées ont été réalisées à un pas d'environ 50 cm. Les profils permettront d'évaluer l'évolution des variations topographiques en absolu devant les zones naturelles et artificielles et entre les années de prises de mesure. Les zones en érosion et en accumulation pourront ainsi être localisées avec précision.

2.2.2.2 Approche par transect et parcelle d'échantillonnage

L'emplacement des transects a été choisi selon une combinaison des méthodes au jugé et systématique. En ce sens, chaque transect devait être représentatif d'une zone relativement homogène dans l'espace, tandis que sur chaque transect, les stations ont été positionnées à distance égale du trait de côte, soit une distance de 10 m (haut estran), de 20 à 30 m (bas estran supérieur), et de 50 m et plus (bas estran inférieur). Pour des raisons techniques, chaque station devait être complètement découverte à marée basse. En conséquence, la distance initiale de 10 m a été réduite à 5 m devant les enrochements, car la très faible largeur des plages restreint souvent la zone intertidale à une vingtaine de mètres tout au plus.

Chaque station a été échantillonnée au moyen de parcelles, ou quadrats, en triplicats (Figure 4). Ces quadrats métalliques (identifiés A, B, C) font 25 cm de côté par 20 cm de hauteur. La technique de positionnement de la parcelle consiste simplement à lancer les quadrats de façon aléatoire à proximité du ruban à mesurer servant à délimiter les stations le long du transect.



Photo : Christian Fraser, août 2006.

Figure 4. Méthode d'échantillonnage; transect perpendiculaire au trait de côte et quadrats en avant-plan (flèches).

Dans chacune de ces parcelles, les échantillons biologiques et physiques ont été récoltés et les coordonnées X, Y et Z ont également été notées. L'effort d'échantillonnage pour le secteur de Saint-Siméon et pour l'ensemble de la zone d'étude est présenté au tableau 2, et ce, pour les deux années de terrain.

Tableau 2. Répartition de l'effort d'échantillonnage de la zone intertidale du secteur de St-Siméon en comparaison à la zone d'étude globale.

	Zone d'étude totale		Secteur St-Siméon	
	2006	2007	2006	2007
Longueur de la côte (km)	15,7		5,1	
Nb - transects	16	26	5	7
- stations (E/N) ^a	26 (13/4)	40 (8/16)	8 (4/4)	8 (5/3)
- parcelles	78	120	24	24
Nb d'échantillons				
- microphytobenthos	97	106	7	7
- méiofaune	98	107	21	15
- macrofaune	102	86	21	24
- granulométrie				

Légende : a) E = côte enrochée, N = côte naturelle.

2.2.2.3 Échantillonnage granulométrique

Pour des fins d'analyses granulométriques, un échantillon du substrat de surface a été prélevé à chaque station, à quelques centimètres de la parcelle A. Une coupe stratigraphique a également été réalisée à proximité de la parcelle C sur une profondeur d'au moins 50 cm. Un échantillon de substrat supplémentaire par unité sédimentaire a été récolté et l'épaisseur des unités a été notée.

2.2.2.4 Échantillonnage du microphytobenthos et de la méiofaune

La cueillette d'échantillons de sédiments de surface servant à l'analyse de la biomasse microphytobenthique et de la diversité et de l'abondance de la méiofaune benthique, a été réalisée à l'aide d'une seringue plastique tronquée de 2,6 cm de diamètre. Ces échantillons ont été pris sur le premier centimètre du centre de chaque parcelle. Pour le microphytobenthos, les échantillons ont ensuite été dilués dans 10 à 20 ml d'acétone à 90%, pour permettre l'extraction des pigments photosynthétiques. Dans le cas de la méiofaune, les échantillons de substrat ont été fixés avec du formaldéhyde à 4% tamponné.

Mentionnons que, lorsqu'elles étaient jugées impropres au soutien de la vie marine, certaines stations n'ont pas été échantillonnées pour le volet biologique. Des tests faits à la station 126-5m n'ont pas permis de récolter d'organismes sur un substrat sablo-graveleux sec situé au-dessus de la limite moyenne des hautes eaux. Les échantillons granulométriques ont néanmoins été récoltés pour toutes les stations.

2.2.2.5 Échantillonnage de la macrofaune

Le substrat de chaque parcelle a été récolté au moyen d'une truelle sur 20 cm de profondeur ou du moins, jusqu'à l'affleurement du roc. Le volume de substrat a été ensuite transféré dans un caisson de plastique (Figure 4, caisson bleu) et passé sur un tamis de vide de maille d'environ 1mm pour 2006 et exactement 0,5 mm pour 2007. Ceux-ci ont été fixés dans du formaldéhyde à 4% tamponné.

Finalement, les espèces végétales présentes chaque parcelle ont été identifiées au genre ou à l'espèce si possible, de même que le pourcentage de recouvrement par espèce (déterminé par estimation visuelle) a été noté. La description et le croquis des coupes stratigraphiques ont également été reproduits. Le type de substrat a été caractérisé visuellement (en parallèle à l'échantillonnage granulométrique), et un ordre a été attribué aux quatre classes texturales dominantes. Toute autre information pertinente a également été notée.

En résumé, les étapes suivantes ont été effectuées à chaque station, le long du transect :

- Positionnement aléatoire des 3 quadrats;
- Échantillonnage biologique : microphytobenthos, méiofaune et macrofaune (3 parcelles) ;
- Échantillonnage granulométrique (parcelle A et unités stratigraphiques) ;
- Coupe stratigraphique (parcelle C) ;
- Fiche terrain ;
- Positionnement géographique au DGPS et profil de plage ;
- Photographies numériques.

2.3 Analyse en laboratoire

2.3.1 Granulométrie

La méthode employée pour l'analyse granulométrique est la diffraction laser, effectuée au moyen de l'appareil LS 13320 *Beckman-Coulter Particule Size Analyser* dans les laboratoires de l'Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER-UQAR). La méthodologie complète utilisée pour la préparation et l'analyse granulométrique de la fraction fine (<2mm) des échantillons récoltés durant la campagne de terrain est présentée dans Leclerc *et al.*, 2007.

2.3.2 Teneur en matière organique

Le pourcentage de matière organique a été obtenu par perte au feu (500°C) d'une portion des échantillons des sédiments récoltés à chaque station. Le poids avant perte au feu et après a été calculé et ramené en pourcentage de contenu organique par échantillon.

2.3.3 Microphytobenthos

2.3.3.1 Extraction des pigments chlorophylliens

La détermination des concentrations en chlorophylle *a* et en phaeopigments dans les sédiments a été effectuée par fluorométrie à l'aide d'un fluorimètre Turner Design 10AU. La lecture s'est effectuée de 18 à 24 heures après l'extraction des pigments chlorophylliens maintenus dans l'acétone 90% et à l'obscurité à une température de 5°C.

2.3.3.2 Biomasse microphytobenthique

La biomasse algale, obtenue à partir du dosage de la chlorophylle *a* (chl *a*) ou des phaeopigments (phaeo), s'exprime d'abord en μg de chl. *a* (ou de phaeo) par gramme de sédiments secs ($\mu\text{g g}^{-1}$) puis, par conversion, en mg par mètre carré de surface humide (mg m^{-2}). Cette conversion est réalisée à partir de la superficie standard de la seringue utilisée pour chaque échantillon et d'un facteur d'humidité calculé à partir de la masse des échantillons de substrat avant et après 48h de séchage à 60°C .

Les équations utilisées pour calculer la biomasse algale sont les suivantes (Riaux-Gobin et Klein, 1993):

$$\text{Chlorophylle } a \text{ (}\mu\text{g g}^{-1} \text{ sédiments secs)} = (\mathbf{F}_b - \mathbf{F}_a) * \mathbf{Tau}/\mathbf{Tau}-1 * (\mathbf{v}/\mathbf{x}*1000) * \mathbf{Fd}$$

$$\text{Phaeopigments } a \text{ (}\mu\text{g g}^{-1} \text{ sédiments secs)} = \mathbf{Tau} * (\mathbf{F}_b - \mathbf{F}_a) * \mathbf{Tau}/\mathbf{Tau}-1 * (\mathbf{v}/\mathbf{x}*1000) * \mathbf{Fd}$$

où \mathbf{F}_b = fluorescence avant acidification; \mathbf{F}_a = fluorescence après acidification; \mathbf{Tau} = ratio d'acidification de la Chl *a* pure (spécifique pour chaque fluoromètre); \mathbf{v} = volume d'acétone utilisé pour l'extraction; \mathbf{x} = poids sec des sédiments; et \mathbf{Fd} = constante de calibration (spécifique à chaque appareil).

Pour la conversion en mg par unité de surface, la démarche suivante a été observée, applicable aux deux équations :

$$\text{Chlorophylle } a \text{ (mg m}^{-2} \text{ surface humide)} = \mathbf{Chl } a * (\mathbf{xh}/\mathbf{xs}) / \mathbf{s}^2$$

où $\mathbf{Chl } a$ = quantité de chlorophylle *a* en $\mu\text{g g}^{-1}$ sédiments secs; \mathbf{xh} = masse des sédiments humides; \mathbf{xs} = masse des sédiments secs; et \mathbf{s}^2 = superficie de la seringue en m^2 .

Finalement, les pigments chloroplastiques totaux (CPE) par parcelle ont été déterminés par la somme de la chlorophylle *a* et des phaeopigments benthiques (Thiel, 1978). Pour des raisons techniques, la biomasse algale de 2007 n'a pu être exprimée qu'en $\mu\text{g g}^{-1}$ de sédiments secs.

2.3.4 Méiofaune

Les échantillons ont d'abord été colorés au Rose Bengale. Les sédiments ont ensuite été tamisés à l'aide de deux tamis de vide de maille de 500 et de 43 microns (μm). La fraction retenue sur 43

μm a été conservée. Les sédiments récoltés suite au tamisage étaient submergés avec de l'eau puis agités afin de remettre en suspension les organismes. Le surnageant était ensuite récupéré à la pipette et disposé dans un plat rotatif surcreusé. L'identification et le décompte de tous les individus ont été réalisés à l'embranchement, à la classe ou à l'ordre, grâce à une loupe binoculaire Olympus B061.

2.3.5 Macrofaune

Les organismes, fixés au Rose Bengale, ont ensuite été passés sur un tamis de 500 microns de vide de maille et rincés à l'eau. La fraction de chaque échantillon retenue sur le tamis a par la suite été transférée dans un bassin contenant de l'eau pour fins d'identification. La presque totalité des organismes a donc été identifiée à l'espèce ou au genre, sauf des nématodes. Les parties nécessaires à l'identification de l'organisme devaient toutes être présentes. De plus, pour les annélides, seuls les organismes possédant une tête ont été comptés et identifiés.

2.4 Analyses statistiques

Les analyses statistiques présentées dans ce présent rapport concerneront principalement les données relatives aux stations situées dans le secteur de Saint-Siméon. Pour les deux années, trois stations en zone naturelle et trois autres en côte artificielle seront comparées.

2.4.1 Granulométrie

Les données statistiques ont été traduites sur un fichier Excel généré après le traitement de chaque échantillon. La macro Gradistat 4.0 (Blott et Pye, 2001) du logiciel Microsoft Excel est utilisée pour l'analyse de ces données. Les paramètres statistiques générés comptent différentes mesures de tendance centrale (affichées en μm et en Φ) ainsi que la distribution (%) de la taille des particules par classe texturale basée sur la classification de Udden et Wentworth. Les données retenues et présentées dans ce rapport sont les différents pourcentages de chaque classe texturale (sable grossier, moyen et fin, silt et argile) et de la fraction fine, la taille granulométrique dominante (mode) et le triage. Cette variable correspond à l'hétérogénéité d'un substrat en ce qui a trait aux classes texturales. Plus la valeur de triage est élevée, plus les sédiments sont homogènes.

2.4.2 Statistiques descriptives (microphytobenthos, méio- et macrofaune)

Des moyennes et des écart-types par station et par année ont été calculés pour les données biologiques. La densité absolue et relative des taxons méiofauniques dominants (>3% de l'abondance totale) par station a été déterminée par la division de l'abondance moyenne des différents taxons, avec la superficie de l'échantillonneur (5,31 cm²), puis ramener à une densité au 10 cm². Pour la macrofaune, la densité des espèces dominantes a été calculée par mètre carré à partir de la grandeur du quadrat (25 cm par 25 cm par 15 cm).

Afin d'évaluer la diversité du milieu, quelques variables de dispersion ont été calculées. Ainsi, la richesse spécifique correspond au nombre absolu de taxons par parcelle et par station. Les indices de diversité de Shannon-Wiener (H') et d'équitabilité de Pielou (J') ont également été déterminés.

Le premier tient compte de la représentation proportionnelle de chaque espèce par parcelle. Ainsi, H' est minimal si tous les individus appartiennent à une seule espèce ou si chaque espèce est représentée par un seul individu, à l'exception d'une espèce de laquelle on dénombre tous les autres individus (Grall et Hily, 2003). De même, l'indice, et donc la diversité, est maximal lorsqu'il y a un nombre égal d'individus pour toutes les espèces. Lorsque aucun organisme n'a été identifié, il y a absence de valeur d'indice de diversité. L'équitabilité de Pielou (J') est le rapport de la diversité observée à une distribution de fréquence des espèces complètement égale (Pielou, 1966). La valeur de cet indice est à son maximum lorsque toutes les espèces de l'échantillon sont représentées de façon égale par rapport à la population, la répartition des individus entre les espèces est ainsi dite régulière. Au contraire, plus l'indice se rapproche de 0, plus il y a un phénomène de dominance au sein de la population.

2.4.3 Comparaison entre les années

Afin de vérifier les différences possibles entre les deux années d'échantillonnage, certaines analyses ont été effectuées. Les comparaisons peuvent être examinées entre les deux années, en regard au type de côte, soit les côtes enrochées ou naturelles. Afin de comparer exactement les mêmes stations pour les deux années, les transects 29 et 31 de l'année 2007 n'ont pas été inclus aux analyses. Il en est de même pour la station 122-55m qui n'a pas été échantillonnée en 2007.

2.4.3.1 Variables physiques et biologiques

Des analyses de variance ont été réalisées sur les différentes variables quantitatives (physiques et biologiques). Ces variables sont les pentes des plages, la taille granulométrique dominante

(mode), la biomasse microphytobenthique (chlorophylle *a*, phaeopigments et CPE), ainsi que la diversité, la richesse spécifique et l'abondance totale méio- et macrofauniques.

Des analyses de variance paramétriques (ANOVA) à deux facteurs croisés à deux niveaux (2006, 2007 et côte naturelle ou artificielle) ont été réalisées. La normalité des résidus a été déterminée à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$). Une transformation racine carrée a été réalisée lorsque cela permettait de normaliser la distribution des résidus. Dans l'éventualité où les conditions d'application du test n'étaient pas respectées, des tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis ont été réalisés. Toutes les analyses de variance ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS version 9.1.3 (SAS Institute inc., 2008).

2.4.3.2. *Structure des communautés*

Afin de confirmer ou d'infirmer les différences significatives dans la structure des communautés entre les deux années du secteur étudié et entre les sites enrochés ou non, des analyses multivariées de similarité (ANOSIM, Clarke et Green, 1988) ont également été réalisées sur l'ensemble des taxons méio- et macrofauniques ($p < 0,05$). L'ANOSIM est un test conservateur qui permet de déterminer si les échantillons des différents groupements *a priori* forment des groupes statistiquement distincts. Les matrices de dissimilarité des abondances taxonomiques ont été créées à partir de la distance de Bray-Curtis sur les données transformées en racine carrée. Les ANOSIM ont été réalisées grâce au logiciel PAST, version 1.71 (Hammer *et al.*, 2001).

2.4.4 Relation entre les variables

Des analyses de corrélations de Pearson ont été menées sur les données de 2006 et 2007, afin de vérifier les relations entre les variables physiques et biologiques, indépendamment du type de côte ou de l'année. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS version 9.1.3 (SAS Institute inc., 2008).

3. Influence des perturbations anthropiques sur les plages de la région de Saint-Siméon - Bonaventure

Ce chapitre présente, dans un premier temps, l'évolution historique de la ligne de rivage selon les grands types de côte pour l'ensemble de la région d'étude. Ensuite, l'évolution de la ligne de rivage et de la largeur des plages du secteur de Saint-Siméon est présentée, en mettant l'emphase sur l'influence des perturbations anthropiques sur la morphosédimentologie des plages.

3.1 Évolution historique de la ligne de rivage des systèmes côtiers (à l'échelle de l'unité hydrosédimentaire)

La région d'étude présente une grande diversité de systèmes côtiers, comprenant la plupart des types de systèmes côtiers du Québec maritime. En ordre d'importance de longueur de côte, on retrouve les flèches littorales à marais maritime, les terrasses de plage, les falaises composées de dépôts glaciomarins, les falaises deltaïques, les marais maritimes et les falaises rocheuses de grès (Figure 5).

À l'exception des côtes à flèche littorale, qui ont progradé à une vitesse de 0,42 m/an, le bilan global d'évolution côtière pour la région d'étude est négatif pour la période de 1934 à 2007. En ce qui a trait au recul des falaises, il est plutôt faible, avec des moyennes de recul de 0,10 m/an pour les falaises rocheuses et de dépôts glaciomarins (secteur de Saint-Siméon), et de 0,21 m/an pour les falaises deltaïques (secteur de Bonaventure Est). Les valeurs pour les falaises de dépôts meubles sont d'ailleurs nettement inférieures à celles mesurées sur la Côte-Nord du Saint-Laurent (Bernatchez et Dubois, 2004). Pour la falaise de grès (secteur de Saint-Siméon), les valeurs sont aussi plus faibles que les valeurs mesurées sur des falaises de grès des Îles-de-la-Madeleine (Grenier et Dubois, 1992), mais se rapprochent à celles mesurées pour la région de Percé (Bernatchez *et al.*, 2008). Les côtes à terrasse de plage, quant à elles, ont reculé à une vitesse moyenne de 0,33 m/an. Les valeurs de reculs moyens les plus élevées ont été mesurées pour la côte à marais maritime (marais de Saint-Siméon). Le taux de recul de ce type de côte a été de 1,10 m/an, ce qui est similaire à ce qui a été mesuré pour les marais de l'estuaire du Saint-Laurent (Bernatchez et Dubois, 2004; Dionne, 2001).

Localisation des secteurs d'étude dans la région de Saint-Siméon/Bonaventure



UQAR

Réalisation: Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, 2008.

Fond de carte: Orthophotographies aériennes 2001 à l'échelle de 1/40 000 (01809265F05, 01809269F05, 01823213F05), Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec.

Projection: MTM NAD 83 zone 5.

Figure 5. Localisation des secteurs d'étude, type de côte et taux de déplacement par type de côte (Saint-Siméon / Bonaventure).

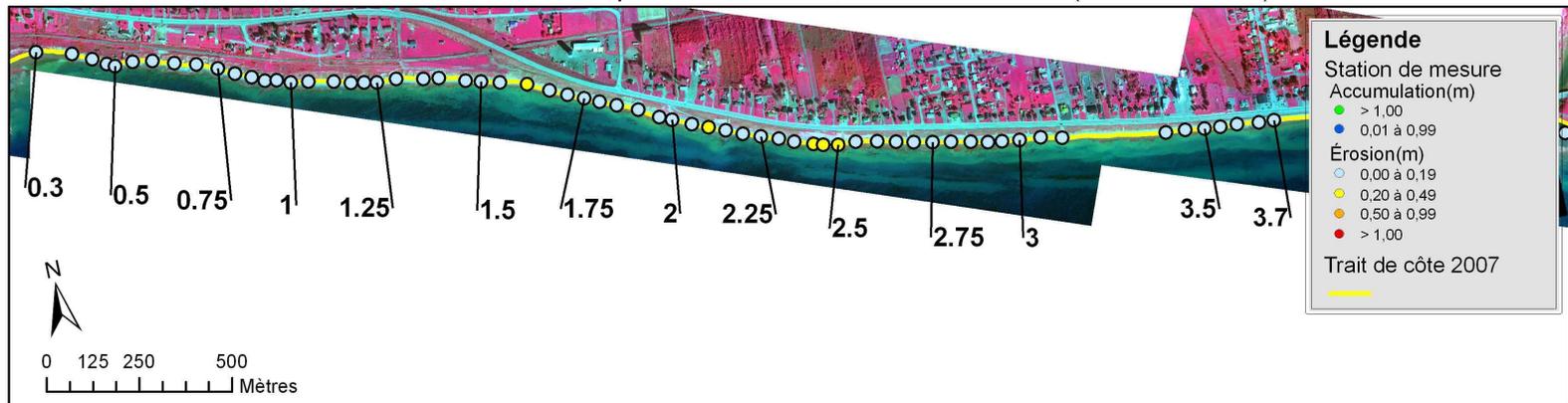
3.2 Influence des perturbations anthropiques sur l'évolution des plages du secteur de Saint-Siméon (secteur B, Figure 6)

D'une longueur de 3800 m, le littoral du secteur de St-Siméon est principalement caractérisé par une falaise composée de dépôts glaciaires et de dépôts glacio-marins surmontés par une unité littorale. À l'extrémité ouest, on retrouve un court segment de falaise rocheuse de grès. Le littoral a reculé à un taux moyen de 0,10 m/an avec une valeur maximale de 0,26 m/an (Figure 6). Les apports de sédiments provenant de la falaise sont donc négligeables.

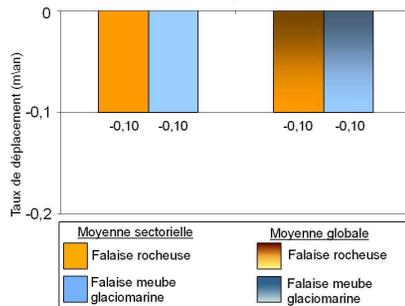
Dans son ensemble, la plage de ce secteur est fortement déficitaire. Les valeurs moyennes de la largeur des plages naturelles varient entre 8 et 11 m. Il faut mentionner toutefois que les falaises rocheuses et les falaises de dépôts glaciomarins sont naturellement bordées de plages étroites. Dans ce secteur, la largeur des plages est grandement influencée par les apports directs des falaises meubles, les structures de protection et la présence de quais. Le quai du ruisseau Leblanc bloque les apports sédimentaires provenant de l'ouest. Immédiatement en aval de ce quai, soit sur les premiers 300 m, la largeur moyenne des plages entre 1934 et 2007 a été aussi faible que 5,5 m (Figure 6). De plus, la présence d'un éperon rocheux à la borne 0,45 entraîne la réflexion des vagues et l'érosion de la plage. La présence d'un deuxième quai à Saint-Siméon (borne 2,15) entre 1934 et 1963 a provoqué un élargissement important de la plage immédiatement en amont de celui-ci, où la largeur moyenne de la plage a atteint une valeur de 18 m en 1934 (Figure 6). Encore une fois, immédiatement en aval du quai, sur une longueur de 150 m, la largeur de la plage est demeurée inférieure à 5 m. La Figure 7 montre clairement qu'avec l'apparition de murets et d'enrochements, la largeur des plages a tendance à être beaucoup plus étroite. L'écart le plus important entre la largeur des plages naturelles et celle en bordure de structures rigides a été mesuré en 1934, où la réduction de la largeur de la plage a atteint en moyenne 62 % devant les murets (Figure 6).

Depuis les années 1960, la réduction de l'écart entre les largeurs des plages naturelles et des plages en bordure de structures de protection peut s'expliquer par une croissance importante de l'artificialité du littoral. Cela fait en sorte que les secteurs naturels sont beaucoup plus restreints et que leur profil est de plus en plus affecté par les secteurs artificiels adjacents, dont la longueur s'accroît au rythme des différentes constructions. Il est à noter que les murets provoquent généralement un impact plus négatif que les enrochements sur la largeur de la plage, de par leur profil vertical et leur rugosité moindre, augmentant la réflexion des vagues et l'affouillement du haut de plage en bordure de la structure.

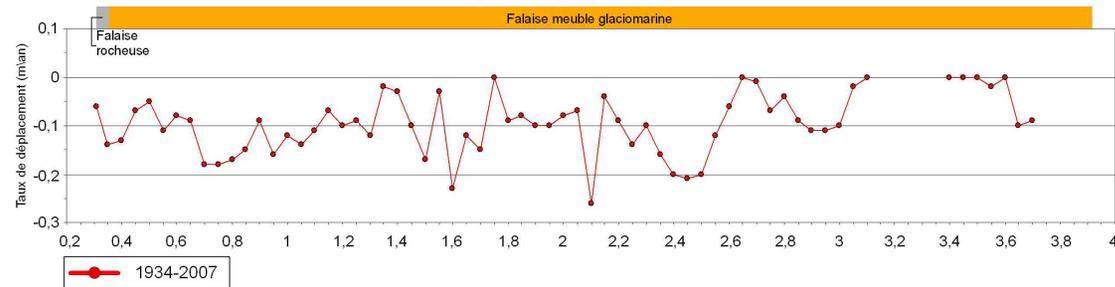
Évolution côtière historique du secteur B, de 1934 à 2007 (Saint-Siméon)



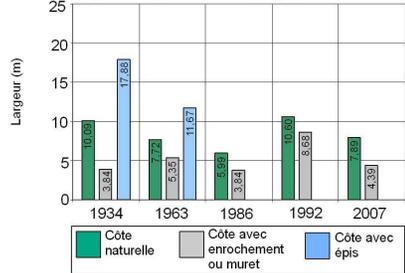
1. Taux de déplacement de la ligne de rivage par type de côte, de 1934 à 2007



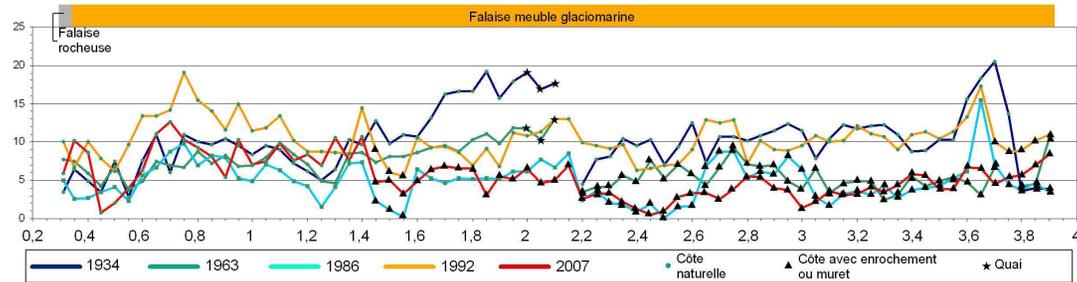
1.1 Évolution historique de la ligne de rivage, de 1934 à 2007



2. Largeur moyenne de la plage, de 1934 à 2007



2.1 Évolution historique de la largeur des plages, de 1934 à 2007



Source: Orthophotographie aeriennne 2007, UQAR.

Projection : NAD 1983 UTM Zone 19N

Réalisation: Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, 2008.

UQAR

Figure 6. Évolution côtière historique du secteur de Saint-Siméon.

Par ailleurs, la largeur de la plage a tendance à être légèrement plus élevée devant le tronçon présentant des cicatrices de glissements de terrain au haut des falaises, particulièrement en 1992 (borne 0,65 à 0,85). Ce tronçon a d'ailleurs reculé à une vitesse supérieure à la moyenne, soit 0,18 m/an. L'unité sableuse sommitale semble donc contribuer légèrement à alimenter la plage devant ce tronçon; les dépôts de glissements peuvent donc contribuer à une rétroaction positive en rehaussant le profil de la plage. Enfin, la présence du ruisseau de la Shop provoque la formation d'un delta sub-aquatique qui favorise la formation d'un saillant triangulaire. La largeur de la plage a généralement tendance à être plus importante devant ce segment qui a atteint la valeur maximale de 20,5 m en 1934 (Figure 6; borne 3,65-3,7).

Il est donc difficile d'évaluer l'impact réel de l'empierrement réalisé à l'automne 2006 sur la morphosédimentologie de la plage, puisque le littoral de ce secteur était déjà fortement perturbé par des structures de protection. Toutefois, l'enrochement de 2006 a entraîné en moyenne un empiètement sur une bande d'environ 5 m sur le haut estran (Figure 7). Cet empiètement a pratiquement fait disparaître le haut estran qui était en moyenne confiné à une étroite bande de 3,6 m de largeur en 2007 (Figure 8). À la suite de l'enrochement, la largeur minimale de la plage mesurée en 2007 a été de 0,55 m et la largeur maximale de 7 m. Les mesures réalisées en 2006 et 2007 à l'aide du DGPS indique que le niveau altitudinal moyen de la zone intertidale était inférieur de 0,75 m devant les secteurs enrochés comparativement aux secteurs naturels. Cela représente une très forte valeur compte tenu du marnage local de 1,5 m pour les marées moyennes et de 2,2 m pour les grandes marées (Service hydrographique du Canada, 2009). Cela signifie que dans les cas les plus extrêmes, un point donné sur une plage pourrait passer de presque jamais ennoyé à presque toujours ennoyé.

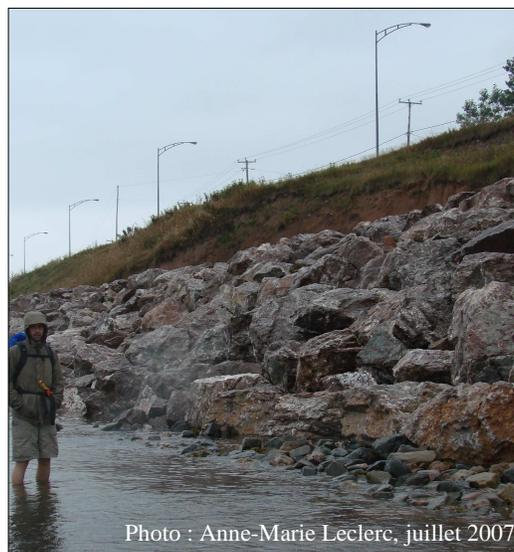


Figure 7. Enrochement implanté à l'automne 2006 dans le secteur de Saint-Siméon. La plage disparaît presque complètement à marée haute.

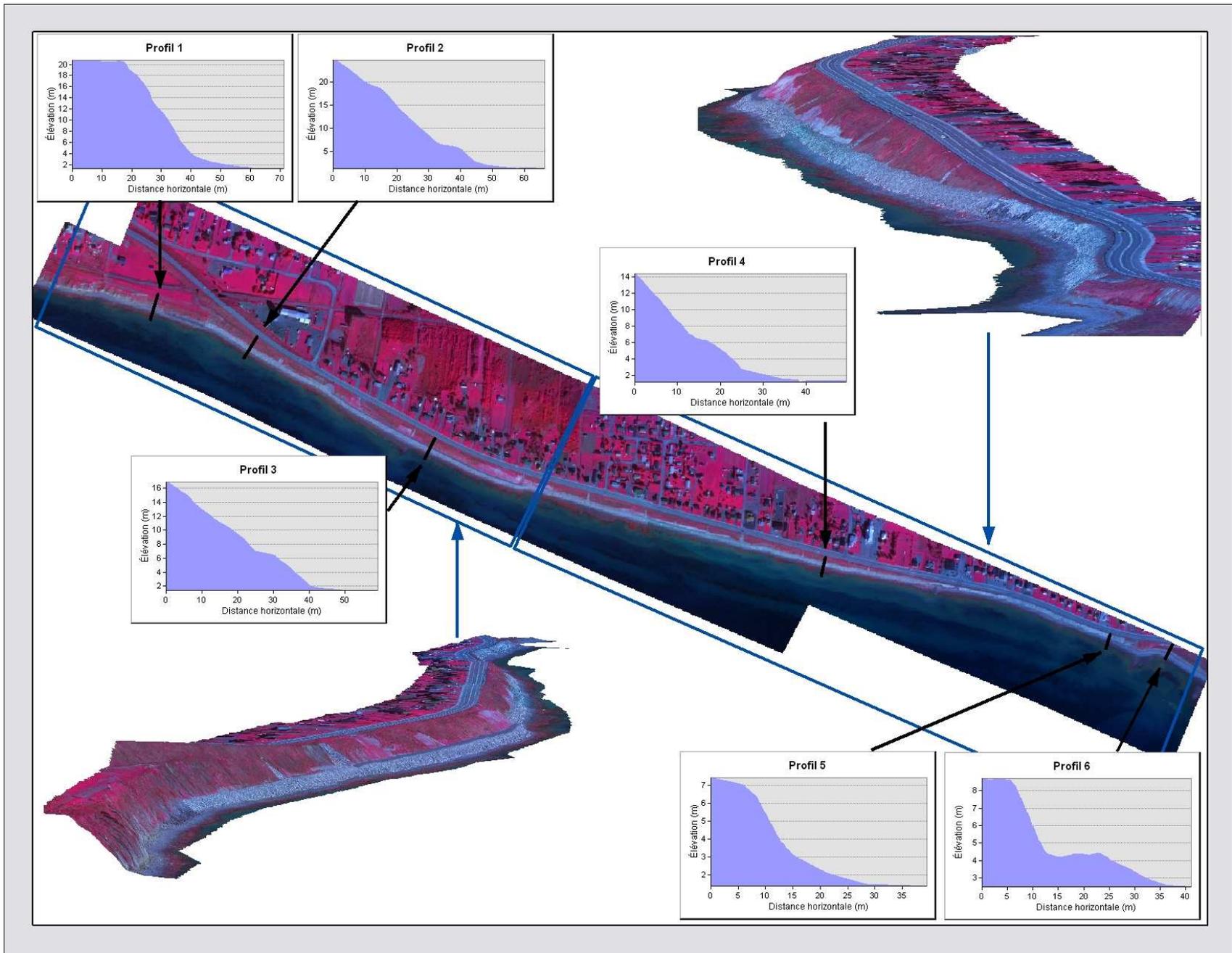


Figure 8. MNE et profil du littoral du secteur enroché de Saint-Siméon, 2007.

4. Comparaison des caractéristiques biophysiques entre 2006 et 2007

4.1 Présentation générale du secteur de Saint-Siméon (variables physiques et biologiques)

Dans le secteur de Saint-Siméon, on remarque tout d'abord que l'altitude moyenne des stations est plus élevée dans les zones naturelles, et davantage en 2007 (Tableau 3). Par contre, celle-ci est seulement significativement différente entre les stations enrochées et naturelles de 2006 et entre les années des sites enrochées (Tableau 5). La taille granulométrique dominante de la fraction fine apparaît grandement supérieure en 2006, principalement dans les sites situés en côte naturelle. Cette différence n'est cependant pas significative (Tableau 4).

Tableau 3. Valeurs moyennes (moy.±écart-type) des variables environnementales et biologiques du secteur de St-Siméon, pré- (2006) et post-enrochement (2007), par type de côte (A = artificielle, N = naturelle).

	2006		2007		2006		2007	
			A	N	A	N		
Nb stations	6	6	3	3	3	3		
Altitude (m)	0,026 ± 0,691	0,213 ± 1,034	-0,310 ± 0,398	0,362 ± 0,642	-0,172 ± 0,077	0,647 ± 1,425		
Matière organique (%)	1,0 ± 0,4	1,9 ± 0,1	0,7 ± 0,5	1,1 ± 0,4	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,3		
Taille granulométrique dominante (mode μm)	966,2 ± 541,5	459,0 ± 50,9	872,9 ± 626,7	1028,4 ± 612,8	459,0 ± 50,9	761,9 ± 618,2		
Triage (φ)	1,0 ± 0,4	0,8 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,4	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,0		
Fraction fine (%)	42,3 ± 35,0	38,0 ± 3,6	59,0 ± 57,6	31,2 ± 17,9	38,0 ± 3,6	37,0 ± 31,1		
Sable grossier (%)	62,2 ± 30,9	49,6 ± 15,3	54,9 ± 40,1	67,1 ± 32,0	49,6 ± 15,3	49,3 ± 53,2		
Sable moyen (%)	26,3 ± 29,6	42,4 ± 14,8	38,5 ± 47,9	18,2 ± 19,0	42,4 ± 14,8	40,0 ± 38,3		
Sable fin (%)	8,1 ± 9,1	5,2 ± 2,1	4,9 ± 5,3	10,2 ± 11,5	5,2 ± 2,1	9,6 ± 13,4		
Silt et argile (%)	3,5 ± 2,3	2,8 ± 0,9	1,8 ± 2,5	4,6 ± 1,6	2,8 ± 0,9	1,2 ± 1,7		
Chlorophylle a (μg g⁻¹)	0,3 ± 0,5	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,7	0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,2		
Phaeopigment (μg g⁻¹)	0,6 ± 0,5	0,5 ± 0,3	0,6 ± 0,4	0,5 ± 0,5	0,4 ± 0,3	0,5 ± 0,3		
CPE (μg g⁻¹)	0,9 ± 0,8	0,7 ± 0,5	0,9 ± 0,5	0,8 ± 1,1	0,7 ± 0,5	0,8 ± 0,5		
Méiofaune								
Richesse	6,4 ± 2,1	5,8 ± 1,8	7,0 ± 1,2	5,9 ± 2,3	5,8 ± 1,9	3,8 ± 2,5		
H'	0,8 ± 0,3	1,0 ± 0,3	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,4	1,0 ± 0,3	1,0 ± 0,3		
J'	0,5 ± 0,3	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,3	0,4 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,3		
Macrofaune								
Richesse	4,3 ± 4,2	3,4 ± 2,8	5,3 ± 4,2	3,0 ± 3,7	3,4 ± 2,2	3,3 ± 3,4		
H'	0,9 ± 0,8	1,1 ± 0,4	0,9 ± 0,8	0,9 ± 0,8	0,9 ± 0,3	1,4 ± 0,3		
J'	0,5 ± 0,3	0,6 ± 0,3	0,7 ± 0,3	0,5 ± 0,3	0,5 ± 0,3	0,8 ± 0,1		

La teneur en matière organique est significativement plus élevée en 2007 comparativement à 2006, tant dans les sites artificialisés que naturels (Tableaux 3 et 5). Pour ce qui est de la représentation des différentes classes texturales, indépendamment du type de côte, le sable grossier domine l'assemblage de 2006, alors qu'à proportions à peu près égales, les sables

grossiers et moyens dominant la fraction fine de 2007. De plus, autant la chlorophylle-*a*, les phaeopigments que les CPE moyens sont pratiquement identiques, peu importe l'année et le type de côte.

Tableau 4. Résultats des analyses de variance à deux facteurs croisés (année - 2006 et 2007, et type de côte - artificielle et naturelle), sur certaines variables environnementales et biologiques des stations intertidales du secteur de Saint-Siméon^a (degrés de liberté = 3).

	Modèle	Année	Type de côte	Interaction Année X Type de côte
Taille granulométrique dominante (µm)	0,67	1,64	0,25	0,14
Teneur en matière organique (%)	13,10 **	34,68 **	0,55	1,59
Chlorophylle a (µg g ⁻¹)	0,39	0,00	0,58	0,57
Phaeopigments (µg g ⁻¹)	0,39	0,03	0,24	0,91
CPE (µg g ⁻¹)	0,37	0,02	0,31	0,78
Méiofaune				
Abondance totale ¹	2,54	6,77 *	0,71	0,13
H ²	2,14	6,36 *	0,01	0,05
J ³	2,53	5,12 *	2,44	0,02
Macrofaune				
H	1,17	1,34	0,22	1,96
J	1,65	0,00	0,28	4,66 *

a) Niveaux de significativité : * 0,05 < *p* < 0,01; ** 0,01 < *p* < 0,001 *** *p* < 0,001

1. Variable ayant subi une transformation racine carrée.

2. *H* = Indice de diversité de Shannon-Wiener 3. *J* = Indice d'équitabilité de Pielou

Du point de vue faunique, même si la richesse méiofaunique semble plus grande dans les sites enrochés en 2006 (Tableau 3), la différence n'est pas significative (Tableau 5). La diversité, l'abondance totale et l'équitabilité sont par contre significativement différentes entre les années, peu importe le type de côte (Tableaux 3 et 4). Du point de vue macrofaunique, seule l'indice d'équitabilité est significativement différent entre les années et le type de côte (Tableau 4). Il semble y avoir un phénomène de dominance plus important dans les côtes naturelles en 2006 et artificielles en 2007 (Tableau 3).

Tableau 5. Résultats des tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis à un facteur (année ou type de côte) sur certaines variables environnementales et biologiques par type de côte (A = artificielle, N = naturelle) ou par année (2006 ou 2007) des stations intertidales du secteur de St-Siméon^a.

	2006 (A vs N)	2007 (A vs N)	A (2006 vs 2007)	N (2006 vs 2007)
Altitude	7,77 **	0,75	12,79 ***	2,69
Méiofaune				
Richesse	2,33	1,5	1,50	0,38
Macrofaune				
Richesse	0,73	0,02	0,89	0,58
Abondance totale	2,03	0,89	3,03	0,24

a) Niveaux de significativité : * 0,05 < *p* < 0,01; ** 0,01 < *p* < 0,001 *** *p* < 0,001

La figure 9 présente les valeurs de densités absolues des principaux taxons méiofauniques et des espèces macrofauniques dominantes (> 3%) et ce, par année et par type de côte. Tant en milieu naturel qu'artificialisé, la densité méiofaunique totale est significativement moins importante en 2007 qu'en 2006 (Tableau 4). De plus, les nématodes dominent les assemblages peu importe le traitement et particulièrement dans les sites artificialisés en 2006. Par contre, les stations situées en côte naturelle de la même année sont dominées par les rotifères. Il est à noter que ce taxon est pratiquement absent en 2007. C'est dans les stations situées en côte artificielle en 2007 que l'on retrouve la plus grande densité d'oligochètes. Il n'y a pas de différences majeures dans la répartition des copépodes entre les années et le type de côte. Il en est de même pour l'ensemble des autres taxons, sauf dans les stations situées en côte naturelle en 2006, où on y retrouve la plus grande densité (Figure 9).

Pour ce qui est de la densité totale d'organismes macrobenthiques, c'est aux stations enrochées de 2007 qu'elle est la plus importante (Figure 9). Cette différence n'est par contre pas significative (Tableau 5). La densité totale des stations en côte naturelle est tout à fait comparable entre les deux années. Il est intéressant de remarquer que les gammares et le groupement nématodes/oligochètes semblent plus abondants dans les stations artificialisées pour la deuxième année d'échantillonnage. Au contraire, on retrouve *Mytilus edulis* et *Idothea balthica* seulement dans les stations en côte naturelle, surtout en 2007. De plus, les littorines, toutes en étant très peu abondantes, sont complètement absentes des sites enrochés en 2007. Quant à cette espèce, *Jaera albifrons* est présente seulement dans les sites naturels de 2006. Finalement, les densités de l'ensemble des autres espèces de la macrofaune, pour les deux années et types de côte, semblent très comparables.

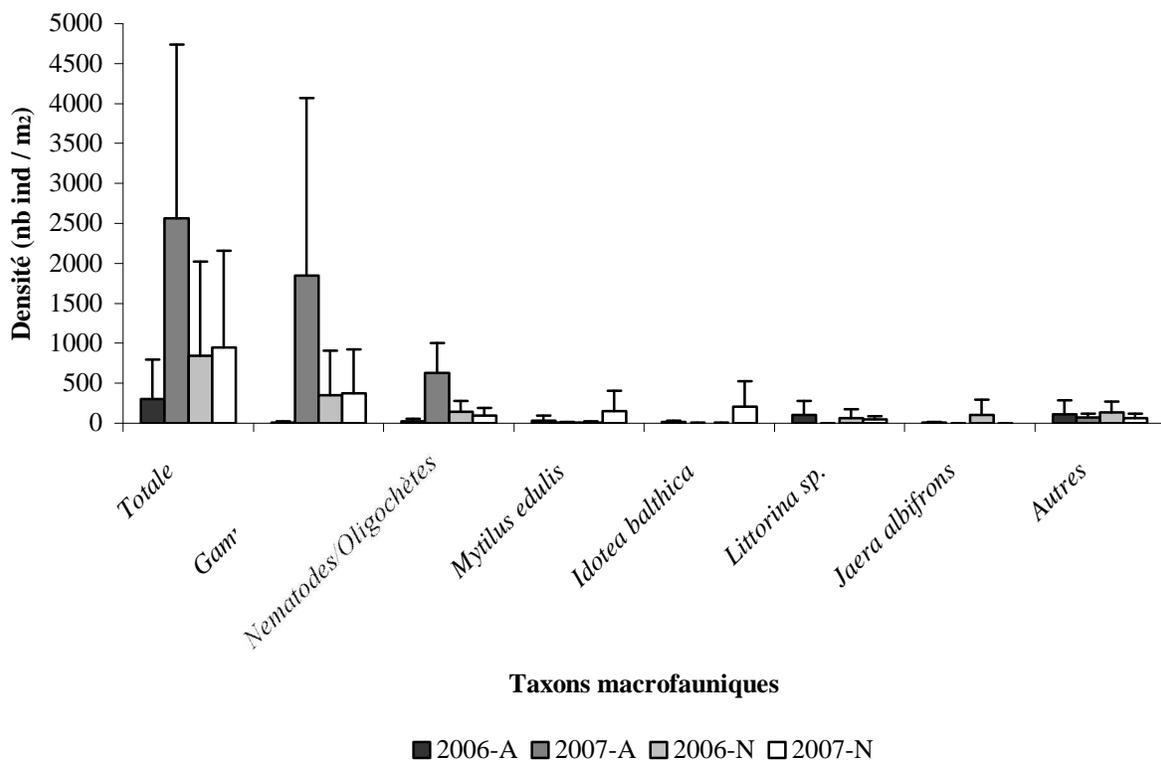
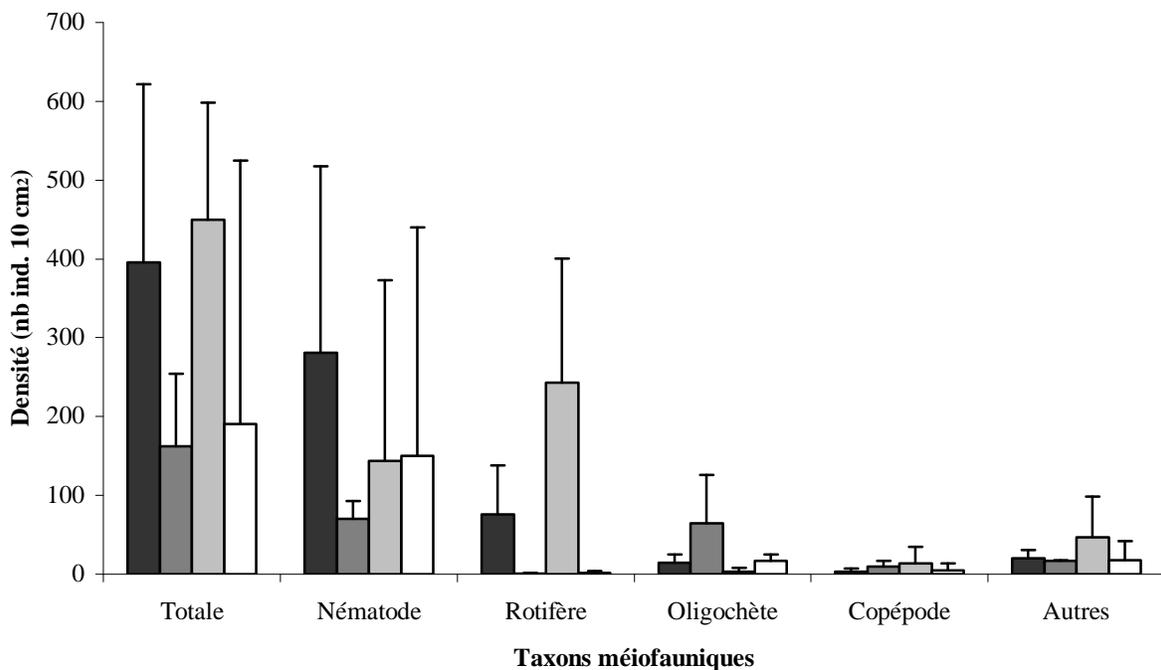


Figure 9. Densité absolue des taxons méiofauniques et des espèces macrobenthiques pour les deux années d'échantillonnage dans le secteur de St-Siméon.

4.2 Structure des communautés

Des analyses de similarité sur les communautés ont été réalisées en comparant les groupements méiofauniques et macrofauniques selon l'année et le type de côte. Aucune tendance n'est ressortie de ces analyses, tous les groupements fauniques sont comparables entre eux, autant en 2006 ou en 2007, en côte naturelle ou artificielle (Tableau 6).

Tableau 6. Valeurs de R des analyses de similarités (ANOSIM) sur les communautés benthiques méio- et macrofauniques, des stations intertidales échantillonnées en 2006 et 2007, en côte naturelle et artificielle, du secteur de St-Siméon.

	2006 (A vs N)	2007 (A vs N)	A (2006 vs 2007)	N (2006 vs 2007)
Méiofaune	-0,42	-0,17	0,25	0,07
Macrofaune	-0,08	-0,08	1	-0,19

4.3 Relation entre les variables

Quelques relations se sont avérées significatives entre certaines variables physiques et biologiques mesurées, et ce, pour les deux années et les deux types de côtes regroupés (Tableau 7). Il semble qu'autant la richesse que l'abondance totale méiofaunique soient négativement corrélées à l'altitude. Il est à noter également que l'abondance totale de la méiofaune est positivement corrélée au pourcentage de la fraction fine de sédiments. La taille granulométrique dominante de la fraction fine sont positivement corrélés à l'altitude.

Tableau 7. Corrélations de Pearson des variables physiques et biologiques du secteur de Saint-Siméon^a, pour les deux années et types de côte regroupés.

	Altitude	Pente	Mode	So	Fr_fine	Sg	Sm	Sf	Chl. a	Phaeo	CPE
Altitude			0,74 *			0,76 *	-0,68 *				
Chl. a			-0,80 *			-0,88 **	0,73 *	0,73 *			
CPE			-0,72 *			-0,72 *					
Rich. méio	-0,69 *									0,71 *	
J méio	0,62 *					0,69 *					
Ab. tot. méio	-0,62 *				0,85 **		0,77 *		0,69 *		
Nématode						-0,72 *	0,69 *		0,66 *		
Copépode						-0,84 **	0,75 *		0,85 ***	0,72 *	0,89 **
Rich. macro										0,67 *	
Ab. tot. macro										0,73 *	0,65 *
<i>Gammarus sp.</i>										0,63 *	
<i>Littorina sp.</i>				0,71 *						0,70 *	

a) Niveaux de significativité : * 0,05 < p < 0,01; ** 0,01 < p < 0,001 *** p < 0,001

À l'inverse, la biomasse algale, autant la chlorophylle *a* que les phaeopigments, est négativement corrélée au mode et au pourcentage de sable grossier, mais positivement associée au pourcentage de sable fin et moyen. Les nématodes et les copépodes sont négativement corrélés au

pourcentage de sable grossier, mais positivement associés au pourcentage de sable moyen et à la biomasse algale (chl. *a*). Finalement, des corrélations positives significatives relient les phaeopigments avec la richesse et l'abondance macrofaunique et l'abondance des gammares et des littorines.

4.4 Synthèse des résultats de l'inventaire biophysique - secteur Saint-Siméon

Le rapport final portant sur l'ensemble de la zone d'étude (Leclerc *et al.*, 2008) interprétait les résultats comme étant typiques à deux environnements distincts, soit un milieu de faible et un milieu de plus fort hydrodynamisme.

Les environnements de faible hydrodynamisme se caractérisent par des faibles pentes, des sédiments fins et une forte biomasse algale. Les populations benthiques qu'on y associe sont principalement endofauniques, c'est-à-dire une faune qui vit enfouie dans les sédiments. Généralement, l'altitude de ces milieux est plus basse. Le temps d'enneigement y est donc plus long. Il s'agit alors d'un milieu relativement stable que l'on associe horizontalement (le long d'un transect perpendiculaire à la plage) à la zone du bas estran.

En contrepartie, les milieux de fort hydrodynamisme (haut estran, selon un gradient horizontal) présentent des pentes beaucoup plus fortes, un substrat plus grossier et un pourcentage de la fraction fine moins élevé. La biomasse algale mesurée y est beaucoup plus faible et la ressource alimentaire pour la faune benthique y est donc probablement limitée. De plus, ces milieux sont souvent caractérisés par une altitude absolue plus élevée et la contrainte liée à la dessiccation devient alors un facteur limitant pour la faune associée.

Toujours selon les conclusions de Leclerc *et al.* (2008), les zones enrochées étaient associées aux environnements de fort hydrodynamisme, mais où l'on distinguait des communautés benthiques distinctes en comparaison aux zones naturelles de forte énergie (hauts estrans naturels). Dans les secteurs artificialisés, la présence de blocs provenant d'enrochements démantelés sur l'estran, comme c'est le cas à Saint-Siméon, pourrait expliquer ces différences. La présence de blocs est d'ailleurs connue pour influencer la distribution des populations benthiques des substrats meubles environnants (Cruz Motta *et al.*, 2003; Cusson et Bourget, 1997).

Une des conclusions majeures de la présente étude et de celle de Leclerc *et al.* (2008) est que les zones artificielles présentent des conditions apparemment plus stressantes pour bon nombre d'organismes, lorsque comparées au bas estran naturel et ce, même avec une dynamique d'enneigement équivalente. Selon nous, la réduction du haut estran devant les zones artificielles

ne permet pas de maintenir le bas estran. Ce dernier est alors soumis à des conditions d'énergie plus élevée. De plus, devant les enrochements, la réduction importante de la largeur des plages augmente le temps de submersion de la zone intertidale en plus d'augmenter potentiellement la réflexion des vagues lors du déferlement, diminuant ainsi la capacité de la plage à absorber l'énergie des vagues. L'ensemble de ces conditions augmente le transport des sédiments près du littoral et réduit la stabilité de la surface de la zone intertidale. La réduction de l'épaisseur de sédiments fins de la plage et l'augmentation de la taille des particules diminuent grandement la qualité du bas estran pour le maintien des espèces, surtout endofauniques.

Toutefois, à la lumière des seuls résultats associés au secteur de Saint-Siméon, on ne semble pas reconnaître les différences majeures mises en lumière par l'analyse de la zone d'étude globale. Il est primordial de mentionner que les sites situés en zone naturelle n'ont pas été discriminés relativement à la subdivision de l'estran. En effet, étant donné le très faible nombre de stations, celles du haut et du bas estran ont été regroupées, afin d'offrir un effectif de stations comparable à la zone enrochée. Or, comme il a été mentionné précédemment, ces deux milieux sont différents quant à leurs attributs physiques, et par le fait même, biologiques. Ainsi, les valeurs regroupées tendent plutôt vers une moyenne qui n'est représentative ni de l'un ni de l'autre milieu.

Néanmoins, les principales distinctions se situent aux niveaux de l'altitude, des taux de matières organiques, des variables biologiques liées à la méiofaune et de l'équitabilité macrofaunique. En 2006 et 2007, il y avait une différence significative en ce qui a trait à l'altitude, i.e. les stations enrochées se situaient plus bas que les stations naturelles. Une altitude plus basse des sites enrochés peut être en lien avec un affouillement à la base des enrochements des structures, un impact largement répertorié (e.g. Kraus, 1988; Dean, 1991; El-Siby, 2007; Kraus et McDougal, 1996; Bernatchez et Dubois, 2004). De plus, il est à remarquer que la granulométrie primaire associée à ces stations était également plus grossière en 2007, probablement en lien avec le nouvel enrochement instauré à l'automne 2006.

L'abondance totale de la méiofaune a diminué en 2007 comparativement à l'année précédente, et des corrélations positives existent entre l'abondance totale de la méiofaune et le pourcentage de la fraction fine et du sable moyen, et la biomasse microphytobenthique (chlorophylle *a*). Même si aucune différence significative n'a été révélée par les analyses de variance en ce qui a trait à ces variables, il est probable que certaines conditions offraient un meilleur support aux communautés méiobenthiques mises en place en 2006. Il est important de considérer qu'une grande variabilité spatiale est observable en référence à un échantillonnage à cette échelle. On a d'ailleurs observé de grands écarts dans les densités à l'intérieur même des stations. De plus, les

analyses de similarité n'ont pas révélé de différences significatives entre les années et le type de côte quant à la structure des communautés, mais ces données sont basées sur les moyennes de trois parcelles par stations, ce qui évacue la notion de variance intra-station.

De plus, la diversité méiofaunique est significativement plus élevée en 2007 qu'en 2006. Généralement, l'hétérogénéité du milieu associée à des sédiments moins bien triés, favorise une plus grande diversité benthique (Janson, 1964), ce qui est d'ailleurs le cas pour l'échantillonnage sédimentaire de 2007 (Tableau 3). Par ailleurs, le triage est un indice de la sévérité du régime hydrodynamique affectant les sédiments (Urban-Malinga 2004, Hulings et Gray, 1976). On retrouve des sédiments bien triés là où l'action des vagues, de la marée et des courants permet de mobiliser les particules très fines, comme cela semble être davantage le cas devant les enrochements. Ainsi, il est probable que la plus grande hétérogénéité sédimentaire en 2007 aie favorisé une plus grande diversité méiofaunique, même si l'abondance générale des stations a grandement diminué d'une année à l'autre.

Enfin, des différences se sont avérées significatives en ce qui concerne l'indice d'équitabilité tant méio- que macrofaunique. Dans un premier temps, la méiofaune était mieux distribuée en 2007, les nématodes étant grandement dominants en 2006. En ce sens, la méiofaune échantillonnée en 2007 était moins abondante, tout en étant plus diversifiée et avec des taxons représentés de façon plus équitable. Dans un second temps, autant l'année que le type de côte ont influencé la répartition des individus au sein des espèces macrofauniques. Ainsi, en 2006, les stations situées en côte naturelle étaient davantage caractérisées par un phénomène de dominance, principalement lié à l'abondance des gammares, au contraire de l'année 2007, où celles-ci présentaient une meilleure distribution des individus entre les espèces. En côte artificielle, le phénomène est inverse, c'est-à-dire qu'il y avait dominance des gammares surtout en 2007, par rapport à 2006 où les individus de toute espèce se répartissaient de façon plus équitable.

5. Conclusion et recommandations

5.1 Synthèse des principaux résultats

La région de Saint-Siméon – Bonaventure présente un bilan d'évolution côtière globalement négatif (i.e. en recul net) entre 1934 et 2007. Les taux de recul de la ligne de rivage sont toutefois assez faibles, variant généralement entre 0,10 et 0,21 m/an pour les côtes à falaises rocheuses et de dépôts meubles. Seules les côtes à flèches littorales, qui sont naturellement très dynamiques, ont connu une progradation, à une vitesse de 0,42 m/an. Le secteur qui a connu la plus forte variation de son écosystème côtier est le secteur de l'herbier de zostère marine de Saint-Siméon. Le recul de la ligne de rivage a en effet atteint à cet endroit 2 m/an entre 1934 et 2007. Le marais côtier présent dans ce secteur a reculé selon un taux moyen de 1,10 m/an. Toujours dans ce secteur, une importante flèche littorale s'est développée à partir de 1963 et a connu une croissance importante entre 1992 et 2007. Des études en cours vont permettre de préciser la nature et les causes de ces modifications liées à la morphologie de cette flèche qui ne cesse de s'allonger.

La région d'étude a connu de nombreuses perturbations anthropiques depuis au moins les années 1930. D'abord, la présence de nombreux quais jusque dans les années 1960 a modifié de manière importante la configuration du littoral, en favorisant généralement la formation de terrasses de plage en aval de la dérive littorale, alors que leur démantèlement ont entraîné l'érosion de ces mêmes terrasses. Depuis au moins 1963, de nombreux murets, souvent en bois, ont été implantés le long du littoral. Ceux-ci ont généralement laissé place à des enrochements dans les années 1970 et 1980. On compte également plusieurs murets de bois de petite taille, réalisés par les propriétaires riverains, qui sont entretenus (parfois peu entretenus), et que l'on retrouve encore aujourd'hui. Les années 1990 et 2000, quant à elles, ont été caractérisées par une augmentation de la présence de structures de protection de grande envergure (i.e. enrochements avec clé).

Les résultats de l'évolution historique des plages montrent clairement que les structures parallèles à la côte (murets et enrochements) ont provoqué une réduction substantielle de la largeur des plages, tout en favorisant l'abaissement de leur altitude. L'altitude plus faible des plages artificielles que celles des hauts estrans naturels en témoignent. La mise en place d'épis de bois en bordure de structures rigides semble généralement avoir eu des résultats mitigés. En effet, en aucun cas ces épis ont permis de rétablir le niveau de la plage pré-enrochement ou pré-muret.

Les communautés biologiques littorales actuelles évoluent donc dans un environnement côtier résultant des effets cumulés de plusieurs perturbations anthropiques qui s'échelonnent sur plus de

80 ans. À la lumière de ces résultats, il est difficile d'établir l'influence réelle des nouveaux enrochements implantés en 2006-2007 sur la faune et la flore intertidales. Ce constat soulève la question de la pertinence du niveau de référence, «avant perturbation», et des sites témoins pour les suivis environnementaux en milieu côtier anthropisé, puisque dans le cas de la région de Saint-Siméon-Bonaventure, l'ensemble de la zone d'étude a été affecté à divers degrés par de nombreuses perturbations. Il serait donc pertinent d'aborder les impacts environnementaux de nouvelles structures de protection en terme de résilience côtière. Par ailleurs, les mécanismes qui régissent la réponse des communautés aux perturbations sont encore mal connus. Le cadre méthodologique de la présente étude ne permet pas d'évaluer, par exemple, si les populations benthiques des environnements jadis naturels et désormais artificiels se sont adaptées, sont disparues ou ont tout simplement migré spatialement. Néanmoins, il est raisonnable de penser que la perte de sédiments fins en zone intertidale (notamment les sables, présents jusque dans les années 1960 environ dans le secteur de Saint-Siméon, selon les photographies aériennes) représente une perte nette d'habitat potentiel pour l'endofaune. Les gammaridés et les littorines sont les seuls taxons dominants du secteur de Saint-Siméon et sont généralement associés aux environnements rocheux.

Par ailleurs, l'analyse de l'évolution historique de l'artificialité et du bilan sédimentaire des plages du secteur de Saint-Siméon permet d'identifier que l'écart entre la largeur des plages devant les zones naturelles et les zones artificielles tend à se réduire avec la hausse de l'artificialité. Ainsi en 2007, 87 % de la longueur totale du littoral de ce secteur présentait une structure de protection. La longueur du littoral sans structure de protection est donc devenue très faible, bien que ce phénomène ait été amorcé dès les années 1960. Dans ces «trouées» non enrochées, les caractéristiques morphosédimentologiques du profil de plage ne sont plus typiques d'un milieu naturel, mais plutôt d'un milieu artificiel. Il n'est donc pas surprenant que les résultats des caractéristiques biologiques présentent peu de différences entre les milieux enrochés et non enrochés pour la période 2006-2007. Néanmoins, quelques différences significatives ressortent, principalement en ce qui concerne l'altitude, les taux de matières organiques, des variables biologiques liées à la méiofaune et de la distribution des individus macrobenthiques au sein des espèces. Cependant, il n'est aucunement possible, dans le cas actuel, de vérifier les causes exactes de ces différences, notamment en raison du nombre très faible de stations et le fait qu'aucune de celles situées devant une côte naturelle n'a été conséquemment enrochée.

Dans le secteur de Saint-Siméon, l'analyse de l'évolution historique des perturbations anthropiques et des conditions morphosédimentologiques des plages prend tout son sens dans le cadre d'une étude de suivi environnemental, et permet d'évaluer la pertinence des sites témoins. Le niveau de référence avant perturbation, tel que présenté par les protocoles de type BACI

(«*before/after, control/impact*», e.g. Underwood, 1991, Stewart-Oten *et al.*, 1992), peut, selon notre interprétation, mener à un biais, sans les connaissances approfondies qui permettent d'expliquer l'origine des caractéristiques écologiques du milieu récepteur. En milieu côtier, l'approche historique est donc nécessaire pour bien cadrer les modifications spatiales et temporelles du littoral. De plus, les études devraient toujours être menées en utilisant comme cadre de référence spatiale les unités hydrosédimentaires côtières.

En terminant, si l'on considère l'ensemble de l'unité hydrosédimentaire de Saint-Siméon-Bonaventure, les résultats de l'analyse des communautés intertidales, sont tout de même concluants. Ils permettent d'évaluer certainement l'influence des structures de protection sur l'écosystème côtier. On sait, entre autres, que les assemblages répondent différemment aux conditions environnementales mesurées dans le haut et le bas estran naturels et en zone artificielle. De plus, les communautés répondent davantage aux variations qui existent dans le bas estran naturel, en opposition aux plages des côtes artificielles. On sait également que les assemblages sont généralement différents au sein des trois milieux, les différences les plus fortes étant observées pour la macrofaune entre les bas estrans naturels et les plages artificielles (Leclerc *et al.*, 2008).

En somme, l'ensemble de nos résultats montre les environnements artificiels constituent un habitat pouvant être colonisé par une certaine faune (surtout la faune mobile), mais ne doivent pas être considérés comme des environnements semblables aux milieux naturels. D'ailleurs, la conservation des hauts estrans naturels, malgré les faibles abondances biologiques qui y sont associées, apparaît néanmoins primordiale. Les hauts estrans permettent ni plus ni moins que le maintien des bas estrans naturels, ces derniers représentant de loin le milieu le plus favorable à la faune benthique. Cela constitue d'ailleurs une de nos conclusions majeures. Dans le secteur de Saint-Siméon, les haut et bas estrans naturels sont quasi disparus, et les enrochements sont frappés par les vagues durant une bonne partie de la marée, ce qui représente à la fois un stress mécanique pour la faune et des conditions hydrodynamiques où la déposition de sédiments fins est improbable. À moyen terme, les conditions qui prévalent dans ce secteur ne devraient pas permettre la formation naturelle de plages dans ce secteur.

6. Références

- Adam, P., 1990. *Saltmarsh ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 461 pp.
- Bateni, S. M. et D.-S. Jeng, 2007. Estimation of pile group scour using adaptive neuro-fuzzy approach. *Ocean Engineering* 34: 1344-1354.
- Bernatchez, P., 2006. *Implantation d'un réseau de suivi de l'érosion côtière et bilan de l'érosion pour le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie et les îles-de-la-Madeleine, Québec*. Rapport de recherche remis au ministère des Affaires municipales et des régions du Québec, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Module de géographie, Université du Québec à Rimouski, février 2006, 65 p.
- Bernatchez, P. et J.-M. M. Dubois, 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire* 581 : 45-71.
- Bernatchez, P., C. Nozais, 2006. *Effets de l'artificialité du littoral sur les écosystèmes côtiers et intertidaux de la région de Saint-Siméon-Bonaventure, Baie des Chaleurs : proposition d'un projet de recherche soumis au Ministère des Transports*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et groupe de recherche BIONORD, Université du Québec à Rimouski, 13 pp.
- Bernatchez P, C. Fraser, S. Friesinger, Y. Jolivet, S. Dugas, S. Drejza et A. Morissette, 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 pp.
- Bird, E.C.F., 1985. *Coastline changes : a global review*. John Wiley, Chichester, 219 pp.
- Blott, S. J. et K. Pye, 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 1237-1248.
- Brazeiro, A., 2001. Relationship between species richness and morphodynamics in sandy beaches: what are the underlying factors? *Marine Ecology Progress Series* 224: 35-44.
- Clarke, K. R. et R.H. Green, 1988. Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series* 46: 213-226.
- Cooper, N. J. et J.S. Pethick, 2005. Sediment Budget Approach to Addressing Coastal Erosion Problems in St. Ouen's Bay, Jersey, Channel Islands. *Journal of Coastal Research* 21: 112-122.
- Cowell, P. J., B.G. Thom, R.A. Jones, C.H. Everts et D. Simanovic, 2006. Management of Uncertainty in Predicting Climate-Change Impacts on Beaches. *Journal of Coastal Research* 22: 232-245.

Cruz Motta, J. J., A.J. Underwood, M.G. Chapman et F. Rossi, 2003. Benthic assemblages in sediments associated with intertidal boulder-fields. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 285-286: 383-401.

Cusson, M. et E. Bourget, 1997. Influence of topographic heterogeneity and spatial scales on the structure of the neighbouring intertidal endobenthic macrofaunal community. *Marine Ecology Progress Series* 150: 181-193.

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

Dean, R.G., 1991. Equilibrium Beach Profiles - Characteristics and Applications. *Journal of Coastal Research* 7: 53-84.

Dionne, 2001. Mesures récentes de l'érosion des schorres supérieurs à Montmagny et à Sainte-Anne-de-Beaupré, moyen estuaire du Saint-Laurent, p. 363-375. In *Conférence canadienne sur le littoral 2001*, Association canadienne pour la science et le génie du littoral Québec, 16 au 19 mai 2001.

El-Bisy, M. S., 2007. Bed changes at toe of inclined seawalls. *Ocean Engineering* 34: 510-517.

Gabriel, A.O. et T.A. Terich, 2005. Cumulative patterns and controls of seawall construction, Thurston County, Washington. *Journal of coastal research* 213 : 430-440.

GIEC, 2001. *Bilan 2001 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II, et III au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Équipe de rédaction principale, Watson, R. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 262 pp.

GIEC, 2007. *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 pp.

Gornitz, V., 1995. Sea-level rise: A review of recent past and near-future trends. *Earth Surface Processes and Landforms* 20 : 7-20.

Grall, J. et C. Hily, 2003. Traitement des données stationnelles (faune). Suivi stationnel : échantillonnage floristique et faunistique, traitement de données. Projet REBENT, opérationnel Région Bretagne, France, 10 pp.

Grenier, A. et J.-M.M Dubois, 1992. Évolution des côtes aux Îles-de-la-Madeleine, p. 59-64, In Dubois, J.-M.M. et J. Gagnon (éd.), *Les Îles-de-la-Madeleine : un pays à découvrir*. Numéro spécial de Info GéoGraphes, n° 1, 126 p.

- Hammer, O., D.A.T. Harper et P.D. Ryan, 2001. *PAST: Paleontological statistics software for education and data analysis*. In *Paleontologia Electronica*, vol. 4, pp. 9: *Paleontologia Electronica*. [<http://folk.uio.no/ohammer/past/>]
- Hulings, N.C. et J.S. Gray, 1976. Physical factors controlling abundance of meiofauna on tidal and atidal beaches. *Marine Biology* 34: 77-83.
- Jansson, B.O., 1967. The significance of grain size and pore water content for the interstitial fauna of sandy beaches. *Oikos* 18 : 311-322.
- Jolicoeur, S. et S. O'Carroll, 2007. Sandy barriers, climate change and long-term planning of strategic coastal infrastructures, Îles-de-la-Madeleine, Gulf of St-Lawrence Québec, Canada. *Landscape and Urban Planning* 81: 287-298.
- Joseph, V., A. Locke et J.-G. Godin, 2006. Spatial distribution of fishes and decapods in eelgrass *Zostera marina* L. and sandy habitats of a New Brunswick estuary, eastern Canada. *Aquatic Ecology* 40: 111-123.
- Keddy, P.A.. 2000. *Wetland ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 614 pp.
- Komar, P.D., 1998. *Beach processes and sedimentation*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 544 pp.
- Kraus, N.C. et H. Hanson, 1995. Discussion of «Beach nourishment in presence of seawall». *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering* 120: 272-274.
- Kraus, N. C. et W.G. McDougal, 1996. The effects of seawalls on the beach .1. An updated literature review. *Journal of Coastal Research* 12: 691-701.
- Kraus, N.C., 1988. The Effects of Seawalls on the Beach: An Extended Literature Review. *Journal of Coastal Research* SI 4: 1-28.
- Lazzari, M.A. 2002 Epibenthic Fishes and Decapod Crustaceans in Northern Estuaries: A Comparison of Vegetated and Unvegetated Habitats in Maine. *Estuaries* 25: 1210-1218.
- Leclerc, A.-M., P. Bernatchez, C. Nozais, M. Coutu et C. Fraser, 2007. *Effets de l'artificialité du littoral sur les écosystèmes côtiers de la région de Saint-Siméon Bonaventure, Baie des Chaleurs : cadre méthodologique et résultats préliminaires, campagne de terrain 2006*. Rapport préliminaire présenté au Ministère des Transports du Québec. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, 127 pp. + annexes.
- Leclerc, A.-M., Coutu, M., Bernatchez, P., Nozais, C. 2008. *Effets de l'artificialité du littoral sur les écosystèmes côtiers de la région de Saint-Siméon-Bonaventure, Baie des Chaleurs : Rapport final*. Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, 100 pp. + annexes.

- Long, B., 2006. *Étude hydrodynamique, sédimentologique et biologique des sites de Maria, St-Siméon, Bonaventure, Newport et Cap-d'Espoir dans la Baie des Chaleurs, Québec, Canada*. Rapport présenté au ministère des Transport du Québec. INRS-ETE, Québec, contrat 3100-00-QH02 document final, 121 pp. + annexes.
- Morneau, F., M. Michaud, F. Lecours, L. Côté et D. Roy, 2001. Étude d'impact sur l'environnement : projets de protection des berges le long de la route 132 autour de la péninsule gaspésienne. Gouvernement du Québec, ministère des Transports du Québec, 84 pp.
- Mörner, N.-A., 2004. Estimating future sea level changes from past records. *Global and Planetary Change*, vol., 40 : 49-54.
- Paskoff, R., 2001. *Le changement climatique et les espaces côtiers, l'élévation du niveau de la mer : risques et réponses*. Actes du colloque d'Arles, La Documentation française, Paris, 97 pp.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types collections. *Journal of Theoretical Biology* 13:131-144.
- Polte, P., A. Schanz et H. Asmus, 2005. Effects of current exposure on habitat preference of mobile 0-group epibenthos for intertidal seagrass beds *Zostera noltii* in the northern Wadden Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 62: 627-635.
- Riaux-Gobin, C. et B. Klein, 1993. Microphytobenthic biomass measurement using HPLC and conventional pigment analysis In *Handbook of methods in aquatic microbial ecology* (eds. Kemp, P. F., B.F. Sheer, E.B. Sheer et J.J. Cole). Lewis publishers, Florida, 369-376.
- SAS Institute inc., 2008. *SAS/STAT Software*. Caroline du Nord, États-Unis. [<http://www.sas.com/technologies/analytics/statistics/stat/index.html>]
- Stewart-Oaten, A., J.R. Bence et C.W. Osenberg, 1992. Assessing effects of unreplicated perturbations - no simple solutions. *Ecology* 73: 1396-1404.
- Stone, G.W., J.D. Orford, 2004. Storms and their significance in coastal morpho-sedimentary dynamics. *Marine Geology*, 210: 1-5.
- Thiel, H., 1978. Benthos in upwelling regions In: *Upwelling ecosystems* (eds. R. Boje & M. Tomczak). Springer, Heidelberg, 124-148.
- Thieler, E.R., E.A. Himmelstoss, J.L. Zichichi et T.L. Miller, 2005. *Digital Shoreline Analysis System DSAS version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey Open-File, Report 2005-1304.
- Underwood, A. J. 1991 Beyond Baci - Experimental-Designs for Detecting Human Environmental Impacts on Temporal Variations in Natural-Populations. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 42: 569-587.

Urban-Malinga, B., Kotwicki L., Gheskiere T. L. A., Jankwska K., Opalinski K. et Malinga M. 2004 Composition and distribution of meiofauna, including nematode genera, in two contrasting Arctic beaches. *Polar Biol* 27: 447-457.

Walkden, M.J.A., Hall, J.W. 2005. A predictive Mesoscale model of the erosion and profile development of soft rock shores. *Coastal Engineering* 52: 535-563

Woodworth, P.L., Tsimplis, M.N., Flather, R.A., Shennan, I., 1999. A review of the trends observed in British Isles mean sea level data measured by tide gauges. *Geophysical Journal International* 136 : 651-670.

Sites Web consultés

Pêche et Océans Canada, 2008, 8 juillet. «Marées, courants et niveaux d'eau, Paspébiac» In *Service hydrographique du Canada*. En ligne, <<http://www.waterlevels.gc.ca/cgi-bin/tide-shc.cgi?queryType=showFrameset&zone=3&language=french®ion=4&stnum=2235>>. Consulté le 25 mars 2009.