

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

IMPACT DES STRUCTURES HYDRAULIQUES SUR L'ÉROSION LITTORALE
EN CÔTE-NORD. ÉTUDE DE CAS PRÉCIS : CAS DE SEPT-ÎLES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉOGRAPHIE

PAR
ABDELHAMID BOUDJERDA

OCTOBRE 2010

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal 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 Montréal 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

Je tiens à remercier toutes les personnes sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. En premier lieu, je voudrai remercier l'aide appréciée de MM. Benoit Saint-Onge et Claude Codjia pour m'avoir orienté tout au long de traitement des photographies aériennes à l'aide des modules OrthoEngine de PCI Géonatica et ArcGIS.

Je tiens à remercier également ma femme, qui malgré son état de santé n'a jamais cessé de me soutenir tout au long de ces années interminables.

Un grand merci aussi à Samir Fertas, ami et collègue qui n'a ménagé aucun effort pour me porter aide lors de l'orthorectification des images aériennes.

Finalement, je tiens à remercier tout particulièrement M. Mohamed Berraja, mon directeur de recherche pour ses encouragements, ses conseils précieux, ses critiques constructives et le soutien qu'il a assuré à toutes les étapes de ce travail. Omniprésent et toujours attentif, il m'a donné la chance et le courage d'aller jusqu'au bout.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des Figures	vi
Liste des tableaux	xiii
Liste des abréviations	x
Résumé.....	xi
INTRODUCTION	1
PERTINENCE SOCIALE DE L'ÉTUDE.....	7
PERTINENCE SCIENTIFIQUE DE L'ÉTUDE.....	7
PARTIE I LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA ZONE À L'ÉTUDE	
I.1 CARACTÉRISTIQUE DU MILIEU PHYSIQUE.....	10
I.1.1 Localisation de la zone d'étude	10
I.1.2 Climat de la région	10
I.1.3 Portrait géologique de la région Côte-Nord	14
I.1.4 Géomorphologie et sédimentologie.....	15
I.1.5 Hydrologie de la région	18
I.2 MILIEU BIOTIQUE.....	22
I.2.1 Couvert végétal.....	22
I.2.2 Occupation actuelle du sol à Sept-Îles.....	23
PARTIE II AGENTS ET CAUSES DE L'ÉROSION CÔTIÈRE	
II AGENTS, CAUSES ET PROCESSUS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE.....	27
II.1 LA GLACE.....	27
II.2 LES TEMPÊTES ET LES HOULES.....	31
II.3 LES PRÉCIPITATIONS.....	38
II.4 LE GEL-DEGEL.....	41

II.5 LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	42
II.6 LA HAUSSE DU NIVEAU MARIN.....	44
II.7 DESEQUILIBRE SEDIMENTAIRE	53
II.7.1 Construction des barrages.....	54
II.7.2 Prélèvement de sédiments de lits des cours d'eau	57
II.8 L'IMPERMEABILISATION DES ESPACES COTIERS	58

PARTIE III MESURE DE L'ÉROSION CÔTIÈRE

III. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE	61
III.1 INTRODUCTION	61
III.2 HISTÓRIQUE ET METHODES ANTERIEURES UTILISEES	
A SEPT-ÎLES POUR ETUDIÉ L'ÉVOLUTION DE TRAIT DE LA COTE	63
III.3 CHOIX DE LIGNE DE RIVAGE REFERENCE	66
III.4 METHODOLOGIE.....	67
III.4.1 Application du module OrthoEngine	67
III.4.2 Application du module ArcGIS	69
III.5 RESULTATS GENERAUX.....	72
III.5.1 Secteur Pointe Aux Basques	72
III.5.2 Secteur des pages Fergusson.....	76
III.5.3 Secteur Maliotenam	80
III.5.4 Secteur Moisie	84
III.6 LES PROCESSUS EROSIFS ET L'ÉROSION COTIERE.....	89

PARTIE IV LUTTE CONTRE L'ÉROSION CÔTIÈRE À SEPT-ÎLES

IV.1 CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE	93
IV.1.1 Planification des interventions à l'échelle provinciale	93
IV.2 MESURE PRATIQUE DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION LITTORALE	101
IV.2.1 Les cordons d'enrochement.....	102

IV.3 RECOMMANDATIONS	108
IV.3.1 Lutter contre l'érosion littorale dans une perspective globale	109
IV.3.2 Anticiper l'érosion littorale et planifier les solutions pour y remédier à long terme	110
IV.3.3 Gestion adaptative de l'érosion littorale (en fonction de son évolution et des connaissances acquises).....	110
IV.3.4 Impliquer directement les investisseurs et les industriels dans le processus de lutte contre l'érosion	111
CONCLUSION.....	113
BIBLIOGRAPHIE.....	116

LISTES DES FIGURES

Figure 1.1 Carte de localisation de la zone à l'étude	13
Figure 1.2 Caractérisation des côtes de la Côte-Nord	17
Figure 1.3 Localisation humaine et utilisation du bassin versant de la rivière Moisie	20
Figure 1.4 Localisation humaine et utilisation du bassin versant de la rivière Sainte-Marguerite	21
Figure 2.1 Rose des vents à Sept-Îles (2003-2005)	34
Figure 2.2 Rose des vagues à Sept-Îles (2003-2005)	35
Figure 2.3 Représentation graphique des niveaux d'eau dans le golfe de Saint-Laurent (1972-2008)	51
Figure 2.4 Les zones sensibles à l'érosion côtière sur la Côte-Nord suite à l'élévation du niveau marin	52
Figure 3.1 Planning de traitement des photographie aériennes dans PCI Orthoengine et ArcGIS	71
Figure 3.2 Positionnement des transects dans le secteur Pointe Aux Basques (Transects 1 à 6)	73
Figure 3.3 Évolution du trait de la côte au cours de la période 1950-2001. Représentation des transects 3 et 4 dans le secteur Pointe Aux Basques qui sont en érosion	75
Figure 3.4 Positionnement des transects dans le secteur des plages Fergusson (Transects 7 à 20)	77
Figure 3.5 Évolution du trait de la côte. Représentation des transects 19 et 20 qui sont en accrétion dans le secteur Plages Fergusson (période 1950-2001)	79

Figure 3.6 Positionnement des transects dans les secteurs Maliotenem (Transects 21 à 35)	81
Figure 3.7 Évolution du trait de la côte au cours de la période 1950-2001. Représentation des transect 34 dans le secteur Maliotenam qui affiche une certaine stabilité (période 1950-2001).....	83
Figure 3.8 Positionnement des transects dans le secteur Moisie (Transects 36 à 46)	86
Figure 3.9 Évolution du trait de la côte au cours de la période 1950-2001. Représentation des transect 38 dans le secteur Moisie qui est en érosion	88
Figure 4.1 Enrochement de protection de berges. Plage Fergusson et Routhier à Sept-Îles	104
Figure 4.2 Érosion de berges immédiatement à l'ouest de l'enrochement de 2005 à Sept-Îles	105
Figure 4.3 Rétrécissement de la plage Fergusson devant les enrochements à Sept-Îles (Vers l'ouest)	106
Figure 4.4 Enrochement temporaire de protection de talus. Plage Fergusson à Sept-Îles (Vers l'ouest).....	107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Rapport de données climatiques pour Sept-Îles (Moyenne pour la période 1950-2005)	11
Tableau 2.1 Nombre de journées dont les températures sont au-dessous de zéro. Stations météorologiques de Sept-Îles et Sept-Îles A	29
Tableau 2.2 État récapitulatif des hauteurs significatives des vagues dans le golfe de Saint-Laurent (Sept-Îles, 1991-2007).....	36
Tableau 2.3 Extrêmes des hauteurs significatives des vagues (période 1991-2007)	37
Tableau 2.4 Évènements de pluies diluviennes sur la Côte-Nord (1979-1988)	40
Tableau 2.5 Vitesse d'élévation du niveau de la mer (mm/an)	46
Tableau 2.6 Tendence du niveau marin pour l'estuaire du golfe de Saint-Laurent	47
Tableau 2.7 Variation du niveau d'eau dans le golfe de Saint-Laurent (1972-2008)	50
Tableau 3.1 Ressources cartographiques et données de télédétection utilisées	62
T Tableau 3.2 Taux d'érosion dans la région de Sept-Îles	65
Tableau 3.3 Évolution de trait de la côte dans le secteur Pointe Aux Basques	74
Tableau 3.4 Évolution de trait de la côte dans le secteur des plages Fergusson	78
Tableau 3.5 Évolution de trait de la côte dans le secteur Maliotenam	82
Tableau 3.6 Évolution de trait de la côte dans le secteur Moisie	87

Tableau 4.1 Implication financière dans le cadre de prévention des risques naturels (Période 2006-2011).....	100
--	-----

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BAPE	Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
CAAF	Contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier
CGP	Control grounds point (Points de contrôle ou calage)
CRÉCN	Conférence régionale des élus de la Côte-Nord
DEM	Digital elevation model (Modèle numérique d'altitude)
DOR	Document sur les Objets de la Révision
PSADR	Projet de schéma d'aménagement et de développement révisé
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MAM	Ministère des Affaires municipales et de la Métropole (MAM)
METL	Ministère de l'Équipement, de Transport et du Logement
M ENV	Ministère de l'Environnement
MNA	Modèle Numérique d'Altitude
MRN	Ministère des Ressources naturelles
MRC	Municipalité régionale du Comté
MSP	Ministère de la Sécurité publique
MTQ	Ministère des Transports du Québec
R.M.S	Root Mean Square (erreur résiduelle)
SDR	Secrétariat au développement des régions
ZC	Zéro des cartes
ZIP	Zone d'intervention prioritaire

RÉSUMÉ

Le littoral sur la Côte-Nord est exposé aux risques d'érosion d'origine marine depuis pratiquement plusieurs décennies, en raison d'une part, des changements climatiques que connaît la planète Terre ces dernières années et, d'autre part, d'une perturbation des espaces côtiers et des bassins versants environnants, liée notamment à une importante activité anthropique.

Le but de cette étude consiste à évaluer le taux de recul et d'avancement de la ligne de rivage dans la municipalité de Sept-Îles, plus précisément sur le tronçon qui s'étale de la Pointe aux Basques à l'embouchure de la rivière Moisie sur une période de 50 ans (1950-2001), grâce à une étude diachronique de photographies aériennes à l'aide des modules OrthoEngine de PCI Géonatica et ArcGIS. Elle cherche également sur la base d'une bibliographie exhaustive de mettre en évidence l'impact direct de certaines activités humaines «jusque-là minimisé devant les effets directs de l'expansion thermique des océans à l'échelle planétaire» sur l'érosion littorale à Sept-Îles, et de suggérer quelques recommandations pour la gestion de ce phénomène dans une perspective globale du développement durable.

INTRODUCTION

Situés au contact de la lithosphère, de l'hydrosphère et de l'atmosphère, les espaces côtiers occupent une position privilégiée qui, de tout temps, ont exercé un fort attrait sur les hommes. On estime que plus de 2/3 de la population mondiale vivent juste à proximité des côtes (Paskoff, 1981). Or, la position des littoraux n'est pas fixe et le cours d'une vie humaine suffit parfois pour apprécier des dynamiques d'évolution spectaculaire. Dans certains cas, le continent avance comme on peut le constater dans beaucoup de régions deltaïques, dans d'autres, malheureusement plus fréquent, il recule sous l'effet dévastateur des vagues et courants, communément connus par l'érosion littorale.

Cette dernière est un phénomène naturel, d'observation courante essentiellement caractéristique de l'évolution superficielle de la croûte terrestre sous l'effet de déplacement des sédiments par les vagues. Elle est surtout due à une pénurie en sédiments. Cette pénurie qui a commencé à se manifester à la fin de la transgression postglaciaire, a été accentuée à l'époque contemporaine par les actions anthropiques, en particulier la construction de barrages sur les fleuves, l'artificialisation des côtes, la déforestation, etc. L'élévation attendue du niveau de la mer à la suite de changements climatiques aggravera probablement ce phénomène (Paskoff, 2001).

Les conséquences économiques et sociales de l'érosion côtière peuvent être importantes dans de nombreux cas. Elle peut même provoquer le déplacement d'une collectivité tout entière. Les conséquences économiques qui se manifestent dans la perte de terrains et de biens peuvent être assez graves, en particulier pour les pays où la région côtière contribue à une partie importante du revenu national.

L'érosion côtière n'est pas un cas isolé au Québec. Comme partout ailleurs dans le monde, beaucoup de littoraux sont en cours d'érosion et ils cèdent du terrain sous les assauts de la mer, au point que peut se poser le problème de leur longévité. Une étude de synthèse effectuée à l'échelle mondiale par Bird (1985) a montré que la tendance récente des plages et littoraux est exposée à l'érosion dans 70 % des cas, alors que 10 % seulement avancent. Les 20 % restants montrant une relative stabilité. Les littoraux étant par définition des formes d'accumulation, leur érosion actuelle témoigne d'un renversement de leur tendance évolutive.

Pirazzoli (1993) estime qu'au rythme actuel de déroulement des choses, certains pays du Sud-est asiatique (Bangladesh) et de petits États insulaires dans l'océan Indien (Maldives) pourraient être rayés de la carte.

C'est un phénomène qui n'épargne aucun état côtier. En 2004, environ 20 000 km de côtes, représentant 20 % de l'ensemble du linéaire côtier de l'Union européenne, sont particulièrement affectés par ce phénomène. Dans la plupart des cas, un recul effectif du trait de la côte est observé, parfois même en dépit des travaux de défense côtiers (Union européenne, 2004). En France, on estime que 1800 km de côtes s'érodent à un rythme annuel moyen de 0,1 à 1m (Mate et METL, 1997). L'ampleur du phénomène sur une grande partie des côtes des États-Unis d'Amérique dans les années 1960, où 88% des littoraux étaient en érosion l'a fait qualifier par la marine américaine comme le second danger qui menaçait le pays après celui de l'ex Union Soviétique.

Au Canada, les affleurements rocheux plus durs qui dominent une bonne partie des côtes de la Nouvelle-Écosse, Québec, Terre-Neuve et Labrador et la Colombie-Britannique n'ont pas permis d'observer des changements importants de la ligne du rivage durant le siècle dernier. Par contre, les autres littoraux, particulièrement ceux situés sur le golfe de Saint-Laurent ont connu des évolutions parfois spectaculaires. Dans ce sens, Bird (1985) rapporte que le littoral de Malpeque dans l'Île de Prince Édouard avait reculé de 100 mètres entre 1845 et 1955, et que l'importante régression

qui a touché la partie nord de l'Île a probablement été aggravée par la submersion que connaît le golfe de Saint-Laurent depuis 1930.

Au Québec maritime, le risque de l'érosion côtière est vraiment sérieux et la dégradation des côtes représente l'un des plus grands problèmes environnementaux auquel est confrontée la Côte-Nord. Elle affecte particulièrement les régions de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent qui s'étire de la ville de Québec jusqu'aux Îles-de-la-Madeleine. En ces zones, 70% du littoral sont constitués de formations meubles (sables fins et argiles) très vulnérables à l'érosion par l'action des vagues, des houles et différents facteurs.

Dans ce contexte, Dubois (1999) souligne qu'uniquement 625 km de côtes, soit 34% de linéaire côtier de la Côte-Nord qui s'étale sur 1825 km sont rocheuses et donc peu sensible à l'érosion et au mouvement de masse. Les côtes dans les formations meubles, autrement très vulnérables au phénomène de l'érosion côtière, s'étalent par contre sur 505 km et représentent 28% du linéaire total. Les 695 km restants (38%) sont des côtes avec une mince couche argileuse et donc peu sensibles à l'érosion.

À Sept-Îles qui représente notre zone à l'étude, 134 km des 255 km de côtes situées sur son territoire sont constitués de sables et autres dépôts meubles dont 92 km sont en érosion plus au moins sévère.

D'une manière globale, le taux de recul dans ces zones en érosion, est en moyenne de 1 m par année, mais localement, à long terme, on retrouve des taux qui dépassent parfois les 5 m, notamment lorsque l'érosion littorale et les mouvements de masse interviennent simultanément (Dubois, 1999). Concernant le golfe du Saint-Laurent, le taux moyen d'érosion oscille entre 0,2 et 4,7 m/année selon les secteurs, mais peut atteindre dans certains cas 10 m et plus (CRÉCN, 2006).

Présentement, la situation est devenue alarmante en de nombreux endroits sur la Côte-Nord, qui sont désormais sujets à une érosion sans précédent. Les effets sur

l'environnement et sur les activités humaines sont inquiétants. Dans la plupart des cas, on assiste à des pertes économiques considérables traduites par la disparition de terrains et les habitations, la menace des infrastructures et la destruction des habitats fauniques.

Beaucoup de spécialistes s'accordent pour dire que l'érosion sur la Côte-Nord est plus spécialement le résultat de la fonte des banquises et calottes glacières polaires à la suite des changements climatiques et l'expansion thermique des océans à l'échelle planétaire, auxquels sont attribuées la hausse des niveaux des mers, l'augmentation de fréquence des tempêtes et possiblement leurs intensités. Mais peut-on se contenter de cette version qui attribue l'apparition de ce fléau seulement aux conditions climatiques et géomorphologiques? Les actions humaines très diversifiées et très abondantes dans cette région de la province ne peuvent-elles pas amplifier le phénomène de l'érosion côtière?

La réponse à cette question pourrait probablement permettre de mieux comprendre l'évolution de l'érosion sur la Côte-Nord et, partant, d'élaborer de nouvelles stratégies de défense et de lutte contre ce phénomène qui ne cesse de prendre de l'ampleur, notamment dans les secteurs situés entre le port de Sept-Îles et l'embouchure de la rivière Moisie où les pertes de terrains dans certains endroits peuvent atteindre jusqu'à 2 mètres/an, ce qui constitue une menace sérieuse pour les différentes infrastructures installées.

Dans la Province du Québec, les eaux de surface recouvrent environ 12% de la superficie de la province. Au fil du temps, ces eaux, qui circulent vers l'aval, creusent leur lit dans différentes couches géologiques et entraînent une certaine quantité de matériaux. Dans les conditions naturelles, ce processus mécanique d'un certain équilibre et avant qu'il soit brisé par l'action humaine a contribué en grande partie à l'alimentation des littoraux en sédiments et autres matériaux solides pour former des plages et des deltas. De nos jours, cet équilibre a été rompu. En effet, sur l'ensemble

du territoire de la Côte-Nord par exemple; les bassins versants ont subi de nombreuses modifications de nature anthropique qui ont profondément affecté le régime des écoulements et contribué à l'amplification de l'érosion littorale, particulièrement, sur les côtes sensibles dont le profil lithologique et la composition granulométrique sont instables (meubles et sablonneux) comme le cas de la région de Sept-Îles.

En ce qui a trait aux problèmes d'érosion côtière sur la Côte-Nord, des études anciennes et récentes effectuées par Dubois (1979b); Bernatchez (2003a) et les experts de la Conférence régionale des Élus de la Côte-Nord (2006) ont exposé l'ampleur du phénomène et les processus d'érosion qui se fondent essentiellement sur des constats qualitatifs ponctuels, tant dans l'espace que dans le temps. Par ailleurs, très peu d'études ont tenté de quantifier ou de pondérer la part relative des différents processus d'érosion dans le recul global des littoraux du golfe du Saint-Laurent, de sorte qu'on peut surestimer ou sous-estimer l'effet de certains d'entre eux. Bref, cette problématique est soit ignorée, méconnue, ou occultée par les différents intervenants d'aménagement.

Notre étude qui s'inscrit dans une perspective d'aménagement des milieux physiques et humains consiste à analyser le phénomène de l'érosion côtière dans son ensemble, mais aussi de décrire d'une manière exhaustive les différents agents et processus responsables de son apparition. Elle vise également à examiner l'impact des actions anthropiques sur l'évolution des littoraux dans la municipalité de Sept-Îles qui fait partie de la région Côte-Nord. Dans ce contexte, les processus érosifs naturels agissent simultanément à côté des processus érosifs de nature humaine, ce qui rend très difficile de classifier et de départager les agents des processus d'érosion. Bref, c'est l'interaction et la combinaison de différents facteurs reliés à des milieux bien déterminés.

La municipalité de Sept-Îles sur la Côte-Nord où l'érosion côtière est très menaçante constitue notre terrain de projet de recherche. Le travail qui se divise en quatre parties et vise essentiellement une meilleure compréhension et caractérisation des facteurs physiques et anthropiques et de leurs impacts sur l'érosion côtière dans cette localité.

La première partie de notre recherche consiste à étudier les conditions générales de la région, avec un descriptif des caractéristiques de son milieu physique et humain.

La seconde partie, qui est la plus délicate, vise essentiellement à décrire les agents et les facteurs de l'érosion côtière ainsi que leurs manifestations à différentes échelles (du global au régional) sur la base d'une recherche bibliographique plus exhaustive.

La troisième partie qui représente en quelque sorte notre cadre opératoire, consiste à une analyse diachronique de photographies aériennes de la zone à l'étude. Il est à noter que la première analyse a porté sur les prises de vue effectuées juste avant l'implantation des barrages. Les autres, sur celles réalisées après la mise en place de ces infrastructures. Ces analyses nous permettront d'apprécier le phénomène dans le temps et l'espace et d'identifier la part des facteurs intervenants dans l'aggravation de ce fléau.

Enfin, la dernière partie concerne, la présentation des mesures et décisions prises par les différents paliers gouvernementaux, régionaux et locaux pour contrer le phénomène. Elle vise aussi à effectuer une étude critique des stratégies de gestion et de lutte contre de l'érosion côtière, mesures qui ont été définies dans une perspective locale et qui ont ignoré l'influence d'agents de forçage globaux et régionaux.

Pertinence sociale de l'étude

L'érosion littorale sur la Côte-Nord et ses incidences sur les propriétés riveraines et les infrastructures ont souvent interpellé les autorités gouvernementales à prendre des mesures d'extrême urgence. Chaque année, les problèmes d'érosion reviennent à l'avant-scène médiatique lors des grandes marées automnales et printanières. Ainsi, depuis plusieurs années, des voix de citoyens se levaient un peu partout dans la région Côte-Nord, pour exprimer leurs préoccupations du danger qui les menace avec leurs biens fonciers et dénoncer l'insuffisance des démarches entreprises pour protéger les berges et les côtes.

Ils soulignent à cet effet que les milieux côtiers sont fragilisés par l'artificialisation des côtes en aval, et par les facteurs naturels et les actions anthropiques en amont comme l'implantation des barrages. Ils identifient à ce titre quelques impacts observés, relatifs à la dégradation des côtes, comme les pressions exercées sur les populations qui vivent sur les rives pour les déplacer ou les exproprier carrément, effondrement de certaines constructions et glissement de terrain situés juste à proximité des côtes.

Les solutions envisagées pour contrer ce fléau suscitent certaines critiques. À Clarke City dans la municipalité de Sept-Îles, des résidents et des élus locaux ont même accusé directement Hydro-Québec d'être l'un des principaux responsables de dégradation de leur espace côtier (Société Radio-Canada, 2008). Ils remettent en question l'efficacité de chargement des plages en sable dans cette localité. Certains espèrent qu'ils n'auront pas à déplacer leur maison dans les années à venir.

Pertinence scientifique de l'étude

Dans un contexte où la protection des littoraux contre les reculs qu'ils connaissent depuis plusieurs décennies devient une nécessité incontournable, il est

impératif de faire avancer les connaissances sur ces milieux fragilisés à la fois par les actions anthropiques et les agents climatiques et physiques.

À ce jour, plusieurs études ont porté sur la question de recul des berges du Bas-Saint-Laurent. Une de celles-ci, élaborée par le groupe de la conférence des élus de la Côte-Nord en 2006, souligne que certaines actions anthropiques comme l'implantation des barrages sur l'ensemble du territoire de la Côte-Nord et l'artificialisation du littoral, sont des sources potentiellement non négligeables de l'érosion littorale dans cette région, mais qu'aucune analyse ne permet de quantifier leur impact, d'ailleurs, comme ce fut le cas pour tous les autres agents d'érosion. C'est dans la même perspective que plusieurs auteurs comme Bernatchez (2003b) et Dubois (1979b), ont évoqué le problème de l'érosion littorale dans le Nord du Québec, en insistant sur l'impact des changements climatiques, mais aussi sur les actions anthropiques dont font partie les structures hydrologiques, qui ont beaucoup affecté cette région autrefois vierge.

La spécificité de cette étude dans la municipalité de Sept-Îles plus précisément, lui donne une nouvelle perspective de répondre à une question qui a préoccupé la plupart des experts, mais aussi de sensibiliser les gens sur les impacts que peuvent avoir certaines activités humaines « démesurées » dans la Côte-Nord sur l'érosion des côtes, même si elles sont pratiquées à des distances lointaines.

Bon nombre d'études effectuées sur l'érosion côtière dans la région de la Côte-Nord ont, en grande partie, attribué le phénomène aux changements climatiques. Cette recherche permettra de raffiner cette hypothèse en lui apportant une contribution supplémentaire relative à l'implication directe de l'homme à travers certaines de ses activités « démesurées » comme les déforestations à grandes échelles, l'artificialisation des espaces côtiers, la construction de barrages et des ports, etc.

PARTIE I

**LOCALISATION ET DESCRIPTION
DE LA ZONE À L'ÉTUDE**

I.1 CARACTÉRISTIQUE DU MILIEU PHYSIQUE

I.1.1 Localisation de la zone d'étude

La municipalité de Sept-Îles est située sur la côte nord du golfe du Saint-Laurent, à environ 780 km au nord-est de Montréal et à environ 575 km au nord-est de Québec, à l'embouchure des rivières Sainte-Marguerite et Moisie. Pôle régional, social et économique, elle est localisée au niveau du 50^e parallèle au cœur de la région de Duplessis sur la Côte-Nord. Bordé par le golfe du Saint-Laurent et par le plateau laurentien, son territoire s'étend sur près de 2200 km². Cette municipalité qui demeure l'agglomération la plus importante de la MRC de Sept-Rivières regroupe les villes de Clarke City, de Gallix et de Moisie et compte près de 26 000 habitants, dont 3000 sont représentés par des Innus.

L'étude du processus de l'érosion littorale dans cette région porte plus précisément sur le tronçon situé entre la flèche littorale de la rivière Moisie et la Pointe aux Basques. D'une longueur totalisant 22,4 km, la section présentée à l'étude est située entre l'embouchure de deux grandes rivières de la Côte-Nord, à savoir Sainte Marguerite et Moisie. (Figure 1.1)

I.1.2 Climat de la région

Le territoire de la municipalité de Sept-Îles, de par son étendue, couvre deux zones présentant des différences climatiques distinctes.

Le littoral est influencé par la présence du fleuve et du golfe Saint-Laurent. Il en résulte un climat de type boréal avec influence maritime. Les eaux du golfe contribuent à adoucir les températures hivernales, mais aussi à refroidir celles de l'été.

L'arrière-pays, «les hautes terres du bouclier Laurentidien» se caractérise par un climat continental rigoureux, avec des hivers froids et neigeux, influencé par des masses d'air arctique.

Les données compilées à partir des stations météorologiques d'Environnement Canada Sept-Îles et Sept-Îles A entre 1950 et 2005 montrent que la température moyenne mensuelle varie de -14°C en janvier à 15,2°C en juillet. La température moyenne annuelle est de 0,9°C. S'agissant des précipitations, la municipalité de Sept-Îles en reçoit un total de 1139,5 mm/an dont 36,27% sous forme de neige.

Les vents proviennent le plus fréquemment de l'Est au printemps, en été et en automne. En hiver, ils soufflent majoritairement du nord-ouest.

À Sept-Îles, l'hiver dure à peu près six mois et le sol est pratiquement couvert de neige et de glace de la mi-novembre à la mi-mai. Toutefois, il faut rajouter un mois de plus si on s'éloigne du fleuve d'une vingtaine de kilomètres.

D'une manière générale, le tableau 1.1 donne un aperçu général sur les paramètres climatiques de Sept-Îles

Tableau 1.1 Rapport de données climatiques pour Sept-Îles
Moyennes annuelles pour la période 1950-2005

Température moyenne (C°)	Température maximum extrême (C°)	Température minimum extrême (C°)	Pluie totale en mm	Neige totale en cm
0,95	27,4	-33,73	725,9	413,15

Source : Environnement Canada, Stations météorologiques de Sept-Îles et Sept-Îles A

Le climat froid et humide favorise une végétation forestière dominée par l'épinette noire. Les formations végétales plus ouvertes à lichens au nord plus froid, cèdent

progressivement la place à la pessière à sapin et mousses, dense au sud où le climat est plus adouci sous l'influence de la latitude et, plus encore, du golfe de Saint-Laurent.

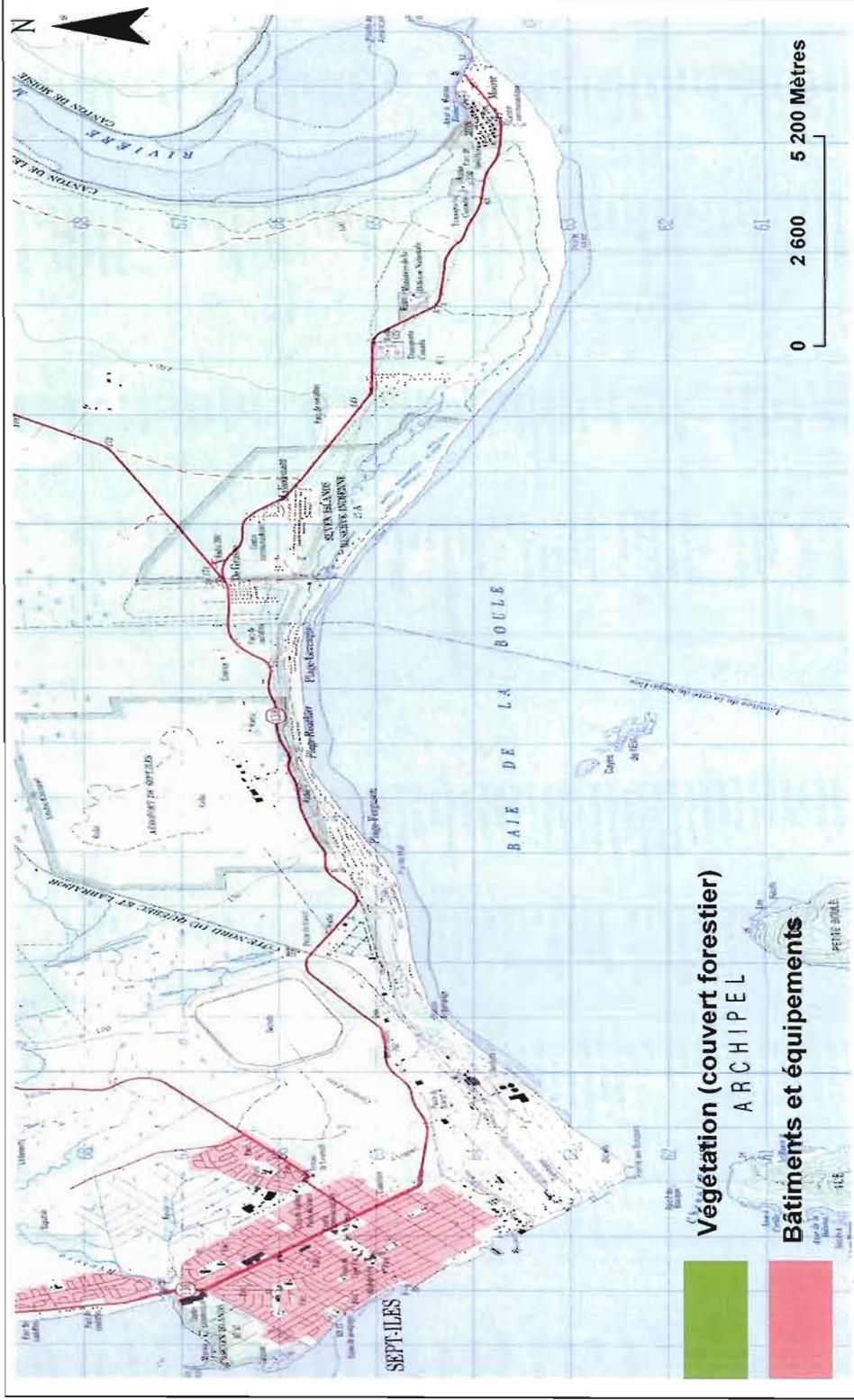


Figure 1.1 : Occupation du sol dans la région de Sept-Îles

I.1.3 Portrait géologique de la région Côte-Nord

En terme géologique, la Côte-Nord est formée d'un complexe géologique appartenant aux formations du Bouclier Canadien. Cette assise est essentiellement composée de roches volcaniques, dont les plus vieilles datent de 2,7 milliards d'années, soit la période la plus ancienne de l'ère précambrienne. Toutefois, il est à noter que le Bouclier Canadien est également formé de roches sédimentaires et métamorphiques.

La région de Sept-Îles qui fait partie de la Côte-Nord est un complexe mafique¹ datant du cambrien (564 millions d'années) qui appartient à la province géologique de Grenville (Comité Zip Côte-Nord du Golfe, 2009). Elle est caractérisée par des roches qui ont subi des déformations structurales et un degré métamorphique variant de modéré à élevé. Le socle rocheux est dominé par les gneiss à l'Est et l'anorthosite à l'ouest. Les dépôts glaciaires minces alternent avec les affleurements rocheux, sauf dans la plaine littorale, où dominent des sables et graviers épais associés à de grandes tourbières.

Le secteur de Sept-Îles (zone à l'étude) est formé de terrasses de plages de basses altitudes par rapport au niveau de la mer. Ce type de côte est actuellement en érosion de manière assez généralisée. Les terrasses de plage sont particulièrement sensibles à l'action des vagues de tempête et il n'est pas rare de mesurer des reculs de plus de 5 m/an. Elles constituent aussi des zones à risque de submersion côtière (Comité ZIP Côte-Nord du golfe, 2007). De longs segments de ces dernières ont fait l'objet d'ouvrage de protection dans toute la façade du centre-ville. Les sources principales d'alimentation de ces plages en sédiments proviennent de l'érosion des berges de l'estuaire de la rivière Moisie (Ouranos, 2008).

¹ Mafique : Mot qualifie une roche magmatique ou un minéral contenant du fer et du magnésium.

I.1.4 Géomorphologie et sédimentologie

Les processus d'érosion et de sédimentation côtière ont toujours existé en Côte-Nord et ont contribué tout au long de son histoire à donner forme à une grande diversité de paysages côtiers Nord Québécois. L'érosion des sols situés à l'intérieur des terres fermes, qui résulte de l'action des eaux de pluie, de ruissellement des eaux résultantes de la fonte des glaciers et des mouvements le long des lits de cours d'eau, draine un volume considérable de sédiments vers la côte. Les sédiments d'origine terrestre, auxquels s'ajoutent les matériaux arrachés aux falaises et aux bancs de sable marins, contribuent par accumulation à l'évolution des plages et à l'alimentation de dunes et marais de transition. Ces écosystèmes côtiers ont engendré de nombreux bénéfices substantiels parmi lesquelles des configurations géographiques propices au développement socioéconomique et récréotouristique, et des conditions favorables à la reproduction des biocénoses. Leur géomorphologie se décrit sommairement comme suit :

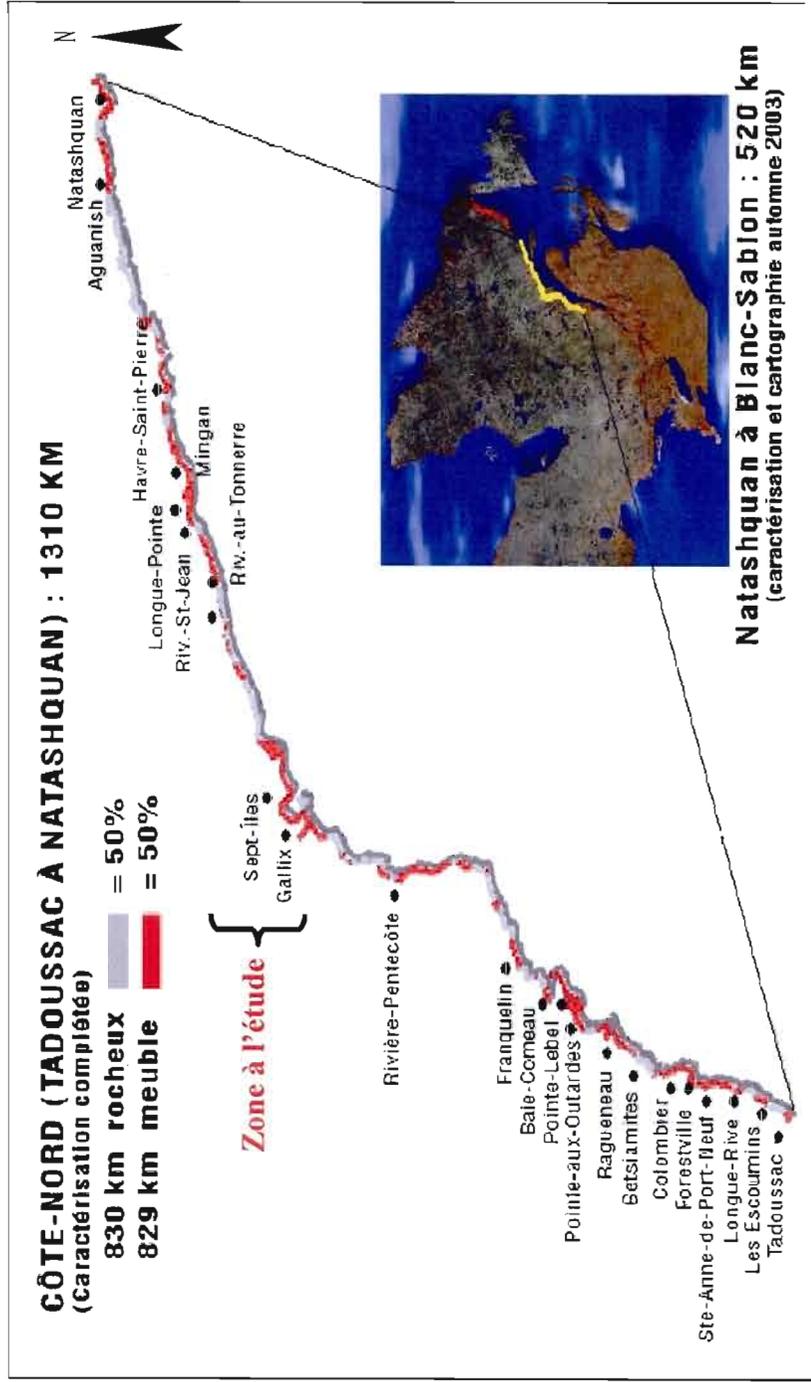
Les dépôts glaciaires minces et les affleurements rocheux dominant sur les hauts plateaux et les collines; plus on s'approche du littoral, plus sont abondantes ces affleurements. Les sables et graviers deltaïques, parfois très épais, associés à des tourbières, caractérisent la plaine littorale. On y trouve aussi, ici et là, des sables littoraux.

La mise en place des formations meubles de la Côte-Nord remonte à la dernière glaciation qu'a connue la région il y a environ 20 000 ans. À cette époque, l'ensemble du Québec était recouvert d'un glacier d'environ 20 000 m d'épaisseur. Sous le poids immense de ce dernier, le continent fut enfoncé sur plusieurs centaines de mètres. Avec le réchauffement climatique survenu il y a presque 12500 ans, le Québec et avec lui le territoire de la Côte-Nord ont commencé à se libérer de cette immense charge de glace. Les eaux issues de la fonte des glaces ont envahi les terres jusqu'à des altitudes de 175 m par endroits. Ceci a donné naissance à l'ancienne mer de Goldthwaith. Le retrait entier du glacier à la suite des modérations du climat a permis

la remontée du continent autrefois écrasé par le poids gigantesque du glacier, ce qui a provoqué le retrait de la mer de Goldthwaith laissant derrière elle d'importants dépôts de sédiments (Comité ZIP Côte-Nord du Golfe, 2006).

La libération des rivières de la Côte-Nord (Moisie, Sainte-Marguerite, Manicouagan, etc.) a permis de véhiculer des quantités énormes de sédiments à leur embouchure. Ces sédiments d'une fertilité inestimable qu'on trouve notamment dans les estuaires deltaïques des rivières précitées sont à l'origine de l'établissement de la majorité de la population de la Côte-Nord

Les sédiments retrouvés sur la Côte-Nord sont représentés en grande partie par l'argile, le limon et le sable. Leur sédimentation sur le socle rocheux du continent qui n'est pas tout à fait cohérente a donné naissance à une formation meuble très vulnérable à l'érosion. Ainsi, sur les 1310 km de la Côte-Nord entre Tadoussac et Natashquan, 829 km, soit 50% de la Côte-Nord sont représentés par des formations meubles, très sensibles au phénomène de l'érosion. (Figure 1.2)



Les côtes de la Côte-Nord

Figure 1.2: Caractérisation des côtes de la Côte-Nord

Source : Comité ZIP Côte-Nord (2006)

I.1.5 Hydrologie de la région

La région possède un important réseau hydrographique représenté essentiellement par les rivières Sainte-Marguerite, Moisie et leurs affluents. Ceci a permis le développement d'une partie de l'imposant réseau hydroélectrique de la Côte-Nord. Les grands bassins et les nombreuses lignes de transport d'énergie témoignent de ce potentiel toujours présent. Cet élément a d'ailleurs influé dans la décision de grandes industries de s'installer dans la région.

La rivière Sainte-Marguerite se jette dans le Saint-Laurent à une quinzaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Sept-Îles. Elle prend sa source au nord du lac aux Cèdres et coule sur près de 300 km avant de rejoindre son estuaire dont les eaux se mélangent à celles du golfe de Saint-Laurent (Figure 1.4).

D'un débit annuel moyen à l'embouchure de $156 \text{ m}^3/\text{s}$, la rivière Sainte-Marguerite draine un bassin versant de 6200 km^2 . Le fond de la vallée est principalement composé de matériaux fluvio-glaciaires, ce qui confère à ses rives une forte sensibilité à l'érosion.

En matière d'acidité, et comme pratiquement toutes les rivières de la Côte-Nord comprises dans le Bouclier Canadien, la rivière Sainte-Marguerite est sensible à l'acidification (BAPE, 1993). Il est à noter que trois centrales hydroélectriques sont implantées sur cette dernière. Les deux premières : SM-2 et SM-1 de type «au fil de l'eau» installées près de l'estuaire de la rivière ont été mises en service respectivement en 1954 et 1993. La troisième, en l'occurrence la SM-3 installée à 73 km de l'embouchure de la rivière Sainte-Marguerite, est entrée officiellement en service en 2005. L'opération de remplissage de son barrage qui a duré pratiquement trois années (1999-2001) a réduit de 76% le débit volumique de la rivière en aval, ce qui ne pourrait pas être sans conséquence sur le pouvoir érosif et la capacité de transport de sédiments des eaux de la rivière vers l'estuaire (Hydro-Québec, 2002).

Ceci a été mis en évidence d'ailleurs en 2002 par le ministère de l'Environnement du Québec et le BAPE (2001) qui ont démontré que le projet SM-3 aura pour effet de régulariser sur une base annuelle le débit de la rivière Sainte-Marguerite. Ainsi, le débit oscillera après la mise en service de la SM-3 entre 100 et 200 m³/s sur toute l'année au lieu de 20 à 30 m³/s durant l'hiver et de 929 à 1200 m³/s pendant la crue printanière. Ces modifications au niveau des débits maxima et minima traduites notamment par une quasi-disparition de la crue printanière et des étiages extrêmes hivernaux, auront des effets sur la dynamique hydrologique de la rivière Sainte-Marguerite ainsi que sur les processus d'érosion.

Située plus à l'est de la rivière Sainte-Marguerite, la rivière Moisie est l'une des rares rivières de la Côte-Nord dont le parcours n'a pas fait l'objet d'aménagements importants. Réputée pour la pratique de la pêche au saumon liée aux grandes qualités de son eau, la rivière Moisie mérite d'être citée comme une référence de qualité pour tous les autres cours d'eau du Québec situés sur le Bouclier canadien (Figure 1.3).

Elle prend sa source près de la Menistouc et Opocopa et coule vers le sud sur une distance de plus de 400 km avant de se jeter dans le golfe de Saint-Laurent à une vingtaine de km à l'est de la ville de Sept-Îles. Beaucoup plus importante que celle de la rivière Sainte-Marguerite, la superficie de son bassin hydrographique s'étale sur environ 19 190 km². La dénivellation totale à son embouchure est de 533 m.

Ses principaux tributaires sont les rivières Nipissis et Caopacho et Ouapetec. Elle est rejointe également par les rivières Garheils et aux Pékans à 262 km de son embouchure, ce qui peut amplifier la vitesse de son écoulement et, par conséquent, son pouvoir érosif. Le débit annuel moyen de la rivière Moisie est de 464 m³/s à l'embouchure. La vitesse élevée de l'écoulement de ce cours d'eau lui donne l'allure d'un long rapide (BAPE, 1993).



Figure 1.4: Localisation humaine et utilisation du bassin versant de la rivière Sainte-Marguerite

Source : Hydro-Québec, 2002

I.2 Milieu biotique

I.2.1 Couvert végétal

Dans la zone littorale de Sept-Îles, et de la limite marine jusqu'au début de la terre ferme, le manteau végétal est fortement discontinu et s'organise en îlots épars floristiquement diversifiés.

À partir du haut de plage (supralittoral) vers le large (infralittoral), se succèdent sur les estuaires le secteur des plages et la baie de Sept-Îles des marais salés, une bande vaseuse dépourvue de végétation, des herbiers de zostère² accompagnés d'algues et enfin d'une bande d'algues proprement dite.

La végétation littorale occupée par une prairie salée est composée essentiellement des espèces suivantes : le Garex paléacé, la Pucinellie maigre et le Scirpe maritime accompagné de Potentille ansérine. On y trouve également le Troscart maritime, la Renoucle cymbalaire et le Spergulaire du Canada (Comité Zip, 2009).

La zone intérieure de l'estran vaseux, généralement submergée est caractérisée par la présence d'herbier de zostère. Par leur feuillage, ces derniers ralentissent les courants maritimes et favorisent ainsi la sédimentation des particules solides en suspension (H.F. Ellefsen, comm. pers, 2008).

La strate herbacée est représentée en grande partie par des espèces boréales. On y trouve surtout la Clintonie boréale, la Pyrole unilatérale, la Trientale boréale, le Cornouiller du Canada, la Linnée boréale, la Coptide du Groenland, le Chiogène hispide et l'Oxalide de montagne. La strate arbustive bordant le littoral et se trouvant juste à la limite de la strate herbacée est en majorité dominée par l'Aulne rugueux et le Myrique baumier (Comité Zip, 2009).

² - Zostère : Plante marine herbacée, généralement vivace et à feuilles en forme de rubans longs. Les herbiers de zostères jouent un rôle important dans le dépôt des sédiments et la stabilisation des substrats ainsi que comme support pour les algues épiphytes les micro-invertébrés.

Adjacentes aux strates précédentes, les formations forestières qui prennent naissance à la limite de zone littorale sont composées en grande partie des peuplements de sapin et d'épinettes blanches mélangées aux bouleaux blancs sur les sites mésiques³. Plus loin de la côte, notamment sur les sites moins favorables, ces peuplements cèdent la place à des espèces plus «rustiques» comme les épinettes noires, le pin gris et à des peuplements mixtes du mélèze, bouleaux et de peuplier faux tremble (Comité Zip, 2009).

La dynamique forestière est surtout régie par la tordeuse des bourgeons de l'épinette vu l'abondance du bouleau blanc dans ce secteur, mais aussi par le feu qui joue un rôle non négligeable. Cependant, l'exploitation forestière et les activités qui en découlent comme le transport et la transformation des produits ligneux peuvent affecter négativement l'environnement forestier de cette région dont le sol est en grande partie composé de dépôts glacières minces. Comme la région reçoit en moyenne 1140 mm d'eau par an, les risques d'érosion hydrique peuvent être considérables (Déjardins ; Monderie, 1999).

Dans la strate herbacée, on retrouve bon nombre d'espèces boréales dont la Clintonie boréale, la Pyrole unilatérale, la Trientale boréale, le Cornouiller du Canada, la Linnée boréale, la Coptide du Groenland, le Chiogène hispide et l'Oxalide de montagne. Adjacente à la végétation littorale, la zone arbustive supralittorale est présente en bordure de la côte est dominée par l'Aulne rugueux et le Myrique baumier (Comité Zip, 2009).

1.2.2 Occupation actuelle du sol à Sept-Îles

Pôle régional, social et économique, la municipalité de Sept-Îles est composée de 8 unités urbaines réparties dans l'espace d'ouest en est comme suit : Gallix, Clarke, Val

³ Site mésique : Site bien à modérément bien drainé où les conditions topographiques et édaphiques sont plutôt moyennes, ce qui permet le développement d'une végétation qui traduit les influences du climat régional et non les conditions particulières du site.

Sainte-Marguerite, Arnaud, Ferland (parc de maison mobile), secteur du Centre, secteur des plages (Monaghan, Fergusson, Routhier et Lévesque) et Moisie.

Situé juste aux abords de la baie de Sept-Îles, le secteur du centre qui représente en quelque sorte le noyau urbain de la ville renferme pratiquement la plupart des résidences, commerces, bâtiments institutionnels et équipements industriels légers.

Juste au nord de secteur du Centre se trouve le secteur Ferland. Ce dernier compte environ 1300 maisons mobiles dont la gestion quasi totale revient aux services de la municipalité.

Un peu plus à l'ouest du secteur Ferland, le secteur Arnaud longe le littoral à l'intérieur de la baie de Sept-Îles. Développé de façon linéaire le long de la route 138, il se caractérise en majorité par des usages résidentiels de faible densité avec des industries légères et quelques établissements agricoles et récréatifs.

Toujours sur la bande littorale, le secteur des plages est situé à l'est du secteur Centre tout près de l'aéroport de Sept-Îles. Bien qu'il soit occupé par plusieurs résidences permanentes, il renferme également pas mal d'infrastructures touristiques.

De point de vue économique, le paysage Sept-Îlien est une mosaïque de ressources riches et dynamiques, qui comprend de grandes superficies forestières de composition diversifiée, des espaces côtiers, de vastes étendues d'eau douce, ce qui lui confère d'importantes possibilités pour un développement socioéconomique.

L'utilisation du territoire par les industries, la navigation maritime, l'urbanisme et les pêches commerciales est connue depuis plusieurs décennies dans la région. Le transbordement du minerai de fer compte parmi les activités économiques les plus importantes de Sept-Îles. La présence du plus important port en eau profonde de toute l'Amérique du Nord permet l'accès aux grands navires transocéaniques durant toute l'année, et de soutenir ainsi les activités des compagnies minières implantées dans la région telle que l'Aluminerie Alouette. Ainsi, quelques 23 millions de tonne de marchandises représentées essentiellement par les minerais du fer, l'aluminium, le bois, la pierre à chaux et le coke de pétrole transitent annuellement par ce port.

La pêche commerciale est aussi une activité d'une grande importance dans la région en raison de l'abondance et de la diversité du patrimoine halieutique. Également, l'industrie forestière occupe une place primordiale dans le paysage économique de Sept-Îles. La forêt publique est octroyée sous forme de CAAF⁴. Cependant, ces dernières années, comme partout d'ailleurs au Québec, l'industrie du bois se confronte à d'énormes difficultés de commercialisation notamment, en raison des taxes imposées aux produits ligneux canadiens par les États-Unis d'Amérique (MRC de Sept-Rivières, 2002).

D'une manière générale, la population active travaille dans les secteurs primaire (17 %) et secondaire (20%), ainsi que dans les services gouvernementaux et paragouvernementaux (30%). Le secteur primaire comprend principalement l'exploitation des ressources naturelles (minières et forestières surtout), tandis que le secteur secondaire repose sur la transformation et la valorisation de ces ressources (industrie du bois, etc..) et les activités de construction. Enfin, le secteur tertiaire représenté par les services, le transport et les communications offre le dernier tiers des emplois (BAPE, 1993).

Il ressort clairement à travers de ce qui vient d'être présenté concernant les conditions générales de la zone à l'étude que les paramètres climatiques, les caractéristiques géologiques, sédimentologiques et hydrologiques et enfin certaines activités humaines confèrent d'une manière générale à la zone à l'étude une vulnérabilité potentielle à l'érosion de son littoral. Le développement des deux chapitres qui suivent pourra certainement mettre en évidence la relation entre ces caractéristiques et les causes et processus érosifs d'une part, et les éventuelles évolutions de trait de la côte d'autre part.

⁴ CAAF : Contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier.

PARTIE II

AGENTS ET CAUSES DE L'ÉROSION CÔTIÈRE

II Agents, causes et processus de l'érosion côtière

II.1 La glace

La glace marine constitue un facteur déterminant dans tout le golfe du Saint-Laurent. Sa présence protège la côte contre l'assaut des vagues et des marées en hiver, alors que sa disparition ou sa raréfaction en cette saison peut s'avérer fatale pour les littoraux. L'étude de sa formation et une appréciation de son action sur le littoral de Sept-Îles seront présentées dans le texte qui suit :

La glace de mer se forme d'abord dans les eaux peu profondes, près des côtes ou au-dessus des hauts-fonds ou des bancs, et particulièrement dans les baies, les bras de mer et les détroits dans lesquels il n'y a pas de courant, et dans les zones de faible salinité (l'embouchure des rivières, par exemple). La glace de rive (shore ice) qui est très souvent la première à apparaître se forme habituellement dans les zones peu froides, peu profondes et moins agitées près des côtes. De ce point de départ, elle s'étend graduellement vers les milieux les plus profonds (Panasuk, 1987). L'apparition de glace de mer et leurs épaisseurs sont conditionnées en grande partie par la rigueur et la rudesse des conditions climatiques hivernales.

Plusieurs études (Panasuk, 1987, Ouranos, 2008) ont révélé le rôle primordial des conditions hivernales sur l'érosion des côtes.

En effet, lors d'un hiver plus froid, la plupart des processus hydrodynamiques qui causent l'érosion des côtes sont atténués. Selon les données climatiques compilées dans les stations météorologiques de Sept-Îles et Sept-Îles A, la moyenne de nombre de journées où le mercure descend au-dessous de seuil de congélation est de l'ordre de 159 jours/an (Tableau 2.1), ce qui explique que dans cette région de la Côte-Nord, le golfe de Saint-Laurent est pratiquement couvert de glace de mer pendant au moins trois mois de l'année (de la mi-janvier à la mi-avril). À une concentration supérieure à

30%, ces glaces inhibent la formation des vagues causées par les tempêtes hivernales qui représentent 30 à 40% des tempêtes globales annuelles.

Dans de telles conditions, les glaces marines et les glaces de rive sont connues par leur effet protecteur lorsqu'elles sont entièrement soudées et peu mobiles. Les glaces qui se forment sur le rivage figent les sables des plages, et la neige recouvre les dunes et une partie des talus, empêchant ainsi les sables d'être transportés par les vents. La pénétration du gel dans les falaises de grès et d'argile réduit leur exposition à l'action du vent et de la pluie et la circulation des eaux phréatiques diminue. (Ouranos, 2008).

Cependant, la durée de la période d'inhibition des vagues par les glaces de mer a diminué de 30% depuis 1960 dans le Golf de Saint-Laurent, passant d'une durée moyenne de 80 jours par année (1960-1995) à seulement 55 jours par année (1995-2007). Selon l'étude établie par Ouranos en 2005-2007 sur l'impact des changements climatiques, une disparition totale des glaces du golfe est prévue pour la fin du siècle en cours (Ouranos, 2008). La même étude a démontré que contrairement à la période 1960-1995 où les hivers étaient plus froids que la moyenne dans le golfe (plus de 30% de concentration de glace sur une moyenne de 70 à 90 jours/an), ceux de la période 1995-2006 affichaient plutôt des hivers plus doux que la moyenne. Les prédictions prévoient un scénario similaire à celui de cette dernière pour les quatre à cinq prochaines décennies.

Ceci va se traduire par une formation tardive du couvert de glace dans le golfe mais surtout par une grande mobilité de glace de mer vers le large laissant derrière elles, les côtes à la merci des vagues de tempêtes très fréquentes et plus violentes en période hivernale. Les glaces de rive peuvent alors agir comme des réflecteurs de vagues, causant un ressac important qui abaisse la plage. Les marées peuvent également soulever les glaces de rive et les emporter au large, ce qui cause une perte considérable de sable.

**Tableau 2.1 Nombre de journées dont les températures sont au-dessous de zéro
Stations météorologiques de Sept-Îles et Sept-Îles A**

Mois	Années						
	1950	1967	1976	1987	2001	2003	2005
janvier	31	31	31	38	31	31	31
Février	28	29	29	28	28	28	28
Mars	31	31	28	21	28	29	30
Avril	14	25	16	11	19	19	20
octobre	3	0	6	3	1	0	0
novembre	17	19	26	25	17	23	20
décembre	28	31	31	29	31	31	29
Total	152	166	167	155	155	161	158

Source : Environnement Canada, 2008

Les nouvelles conditions climatiques sont à l'origine de la régression de l'épaisseur du glacial sur la Côte-Nord, car si un couvert de glace continu a pour effet de protéger les berges contre les vagues et les courants, un autre morcelé peut au contraire accélérer l'érosion des rives. Devant cette situation, les berges se sont retrouvées davantage exposées aux vagues issues des tempêtes hivernales ce qui les a rendues plus vulnérables au phénomène d'érosion.

Cependant, les falaises dans les formations meubles ne demeurent pas entièrement inertes tout au long de la période hivernale. Sur la base des observations effectuées dans la région de la péninsule de Manicouagan, Bernatchez (2003a) s'est aperçu que

le pied de glace peut partir à plusieurs reprises en transportant des sédiments tombés ou flués des falaises et en laissant le littoral sans protection pendant plusieurs jours. Dans des cas pareils, les glaces perdent leur effet protecteur et contribuent à l'érosion des littoraux.

La glace peut jouer aussi un rôle primordial dans l'érosion des zones intertidales par arrachement de matériaux solides ou de plantes halophiles avec leurs vasières, mais aussi dans le délogement et le déplacement des roches (Lessard et al, 1989). Les glaces flottantes, détachées et transportées par les vents avec les vagues lors des hautes marées d'hiver peuvent provoquer des destructions massives des falaises avec lesquelles elles se butent.

Dans les côtes à terrasses de sable comme le cas de secteur des plages de Sept-Îles, le principal rôle de la glace dans l'érosion est indirect. En effet, cette dernière agit comme une structure rigide qui réfléchit les vagues vers le bas et provoque une érosion en profondeur du pied de la plage. La plage est par la suite reprofilée après le départ du pied de glace, d'où un abaissement du haut de la plage. Des mesures effectuées entre 1998 et 2004 sur les plages sablonneuses de la Côte-Nord montrent des abaissements d'un mètre de la surface de la plage (CRÉCN, 2006).

Le départ répété des glaces pendant la saison glacielle et l'augmentation du nombre de cycles glaciels observés depuis 1998 sur la Côte-Nord assurent un maintien du transit sédimentaire sur le bas de plage en hiver, d'autant plus que l'on registre les vents les plus violents pendant cette période. Ce phénomène pourrait s'accroître dans le contexte du réchauffement climatique. Cet accroissement du déficit sédimentaire des plages explique les taux élevés de recul mesuré récemment pour certaines falaises et microfalaises de la Côte-Nord.

Les glaces peuvent également jouer un rôle très important dans le transport de sédiments. À cet égard, Dionne, cité par Bernatchez et Dubois (2004), a évalué à plus d'un million de tonne la masse de vases transportée par la glace, et à quelques 60 000 tonne/km² de sédiments contenus dans le couvert glacielle annuel pour la région de Montmagny au sud de la Côte-Nord. Sur la plate-forme littorale à Pointe-au-Père, la

masse de débris rocheux délestée annuellement par les glaces s'élève à 250 kg/m^2 . Le même auteur souligne que les glaces littorales peuvent véhiculer des mégablocs de plus de 80 tonnes (Bernatchez et Dubois, 2004).

II.2 Les tempêtes et les houles

Bien que les tempêtes soient de faibles fréquences, et qu'elles ne doivent avoir d'impact significatif sur les littoraux que lorsqu'elles se produisent lors des marées hautes et en l'absence d'un pied de glace, elles demeurent, toutefois, des phénomènes naturels les plus génératrices de vagues de vents qui font vraisemblablement évoluer les côtes. Leur agressivité sur les littoraux est plus significative, notamment, lorsque les vagues sont forcées par les vents parvenant d'une direction où leur course (fetch)⁵ est longue.

Selon Paskoff (2002), le traitement des informations obtenues par l'Institut des Sciences océanographiques du Royaume-Uni en mer du Nord, a fait apparaître que la hauteur moyenne des vagues est passée de 2,25 m dans les années 1960 à 2,75 m dans les années 1980. S'agissant de la hauteur maximale, elle aurait augmenté de 12 m à 18 m pendant la même période. On conçoit alors que son agressivité sur les rivages ait été accrue.

Cette constatation va dans le sens de celle de Savard (1998). Celui-ci rapporte que le volume de sédiments déplacés lors des événements extrêmes dépasserait probablement celui mis en mouvement par les processus hydrodynamiques « Normaux » sur une période de 10 à 20 ans.

⁵ Fetch : Distance en mer ou sur un plan d'eau au-dessus de laquelle souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle (une côte) depuis l'endroit où il est créé ou depuis une côte s'il vient de l'intérieur des continents.

Au Québec, et contrairement à l'étude des données météorologiques d'Environnement Canada pour le golfe du Saint-Laurent entre les années 1960 et 1985 qui ne permet pas d'identifier l'intensification des fréquences de tempêtes et leur agressivité dans la Côte-Nord (Dubois et Lessard, 1986), des études météorologiques récentes pour la même région ont révélé plutôt qu'il y aurait eu quatre fois plus de tempêtes dans les années 1990 et que la région la plus affectée de toute la province est celle de Sept-Îles, ce qui explique d'ailleurs le grand potentiel d'énergie éolienne de cette région. L'adoucissement des températures est à l'origine de la hausse des fréquences et des intensités des tempêtes dans le golfe du Saint-Laurent depuis une quinzaine d'années (Savard, 1998).

Les vagues qui sont une des indications les plus reconnues de l'activité des tempêtes constituent un risque naturel significatif face à l'érosion côtière. La mobilité augmentée des sédiments ainsi que les dommages occasionnés aux infrastructures peuvent être causés par l'empiétement des vagues sur la côte; surtout lorsque celles-ci sont superposées à un niveau d'eau supérieur que la hauteur normale pendant les ondes de tempête.

Les séries temporelles de prédiction des vagues tout au long de la Côte-Nord montrent en général qu'elles ont tendance à être plus grandes et plus nombreuses en automne puisque leur fetch n'est pas encore limité par la présence de glaces et que les tempêtes de vents sont peu communes en été. En rétrospective, il est prévu que les grosses vagues arrivent plus fréquemment de l'est, tandis que les petites vagues ont tendance à venir du sud-ouest.

Le rôle fondamental des vents ne se limite pas uniquement à la création des houles et de vagues violentes. Il faut tenir compte de sa participation dans la réalisation de courants de dérives. Il est aussi un facteur d'érosion des plages et des côtes, et contribue en grande partie aux accumulations dunaires et à la morphogénèse littorale.

Il peut entraîner dans de nombreux cas de graves destructions au niveau des couches superficielles des sols et sur le haut des plages exposées aux vents dominants. Son action est d'autant plus efficace que les obstacles sont inexistantes et que les vents sont puissants. Les terrains déboisés et dénudés à la suite de passage de feux de forêts ou sous d'autres actions anthropiques sont la proie facile de vents violents qui peuvent véhiculer des quantités considérables de sables et de particules fines sur de grandes distances à l'intérieur des continents (Nonn, 1974).

Au Québec, l'action du vent sur les côtes sableuses peut se manifester par l'arrachement et le transport de quantités importantes de sable, notamment à l'embouchure des rivières Moisie, aux Graines et au Tonnerre dans la Côte-Nord (Dubois, 1999). L'action du vent entraîne aussi de l'air chargé de sels vers la terre ferme, ce qui n'est pas sans répercussion sur la végétation, les sols et les roches. Il peut être également dans de nombreux cas à l'origine du déplacement des dunes maritimes responsables de la protection des plages et de l'engraissement des littoraux.

La rose des vents établie à partir des données de la station des vents de Sept-Îles du modèle GEM (50.12° N–66.22° W, figure 2.1) par le professeur Yvon Ouellet de l'Université Laval à Québec pour la période 2003-2005, laisse apparaître que les forts vents sont ceux qui passent par les secteurs est et est-sud-est, ce qui n'est pas du tout en contradiction avec les données d'environnement Canada avancées précédemment.

Une analyse similaire, mais cette fois-ci sur les vagues faites à partir des mêmes données par le modèle GENER de l'université Laval et aussi des fetchs calculés au large de Sept-Îles donne les résultats apparaissant sur la figure 2.2 selon le même principe de représentation que celui de la figure précédente. Elle met en évidence la prédominance des vagues de tempêtes en provenance du secteur est et est-sud-est, mais indique également des vagues non négligeables du secteur sud-ouest. D'ailleurs, on a dénombré 68 tempêtes (hauteur de vague > 3 mètres) provenant du secteur « est-

sud-est » par rapport à 6 tempêtes du secteur « ouest » pendant cette période de 2003 à 2005.

Cette constatation va dans le même sens que celui de l'étude réalisée à partir des données de vagues d'Environnement Canada utilisant les données de vent du modèle GEM (2003-2005) et qui confirme la prépondérance des vagues des secteurs est-sud-est (115°) et sud-ouest (210°) (Ville de Sept-Îles, 2007).

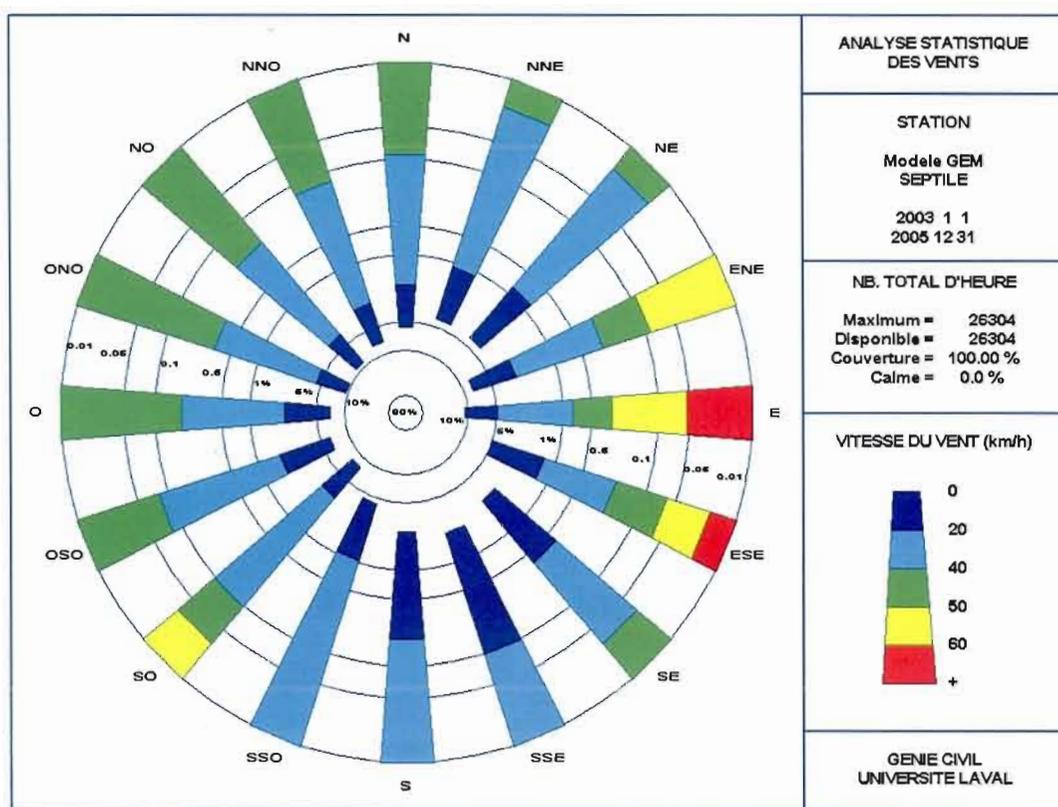


Figure 2.1 : Rose des vents à Sept-Îles -2003 à 2005

Source : Ville de Sept-Îles (2007). Rapport technique sur l'érosion des berges à Sept-Îles.

Des données sur les hauteurs significatives⁶ (H_s) de vagues dans la station Mont Saint-Louis (la plus proche de la région de Sept-Îles) recueillies par la bouée C45138 entre 1971 et 2001 et présentées dans les tableaux 2.2 et 2.3 illustrent également que les vagues de tempêtes ($H_s > 3\text{m}$) dans le golf de Saint-Laurent sont enregistrées durant la période automnale (septembre à novembre). Toutefois, et malgré leur faible occurrence, des vagues à hauteurs significatives d'une action non négligeable ($3\text{m} > H_s \geq 2\text{m}$) ont été constatés pour la même période de 1991 à 2001 pendant les saisons estivales et printanières.

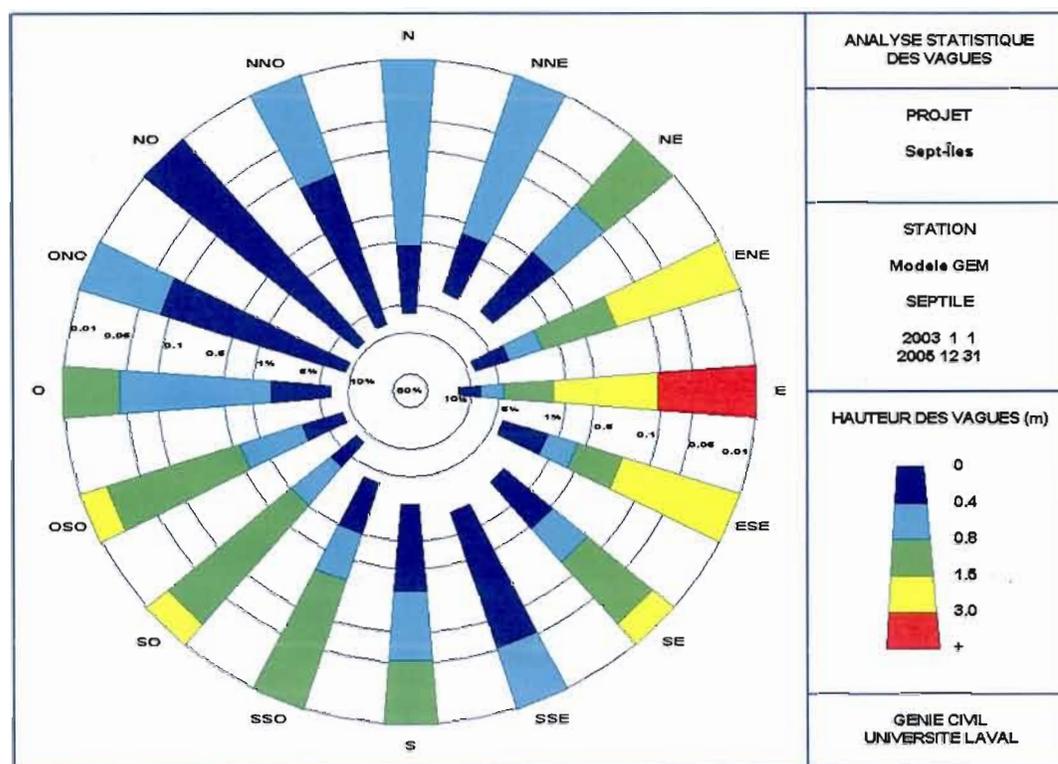


Figure 2.2 : Rose des vagues à Sept-Îles -2003 à 2005

Source : Ville de Sept-Îles 2007. Rapport technique sur l'érosion des berges à Sept-Îles

⁶ La hauteur significative connue par SWH, H_s ou même $H_{1/3}$ est une quantité statistique très utilisée pour caractériser l'état de mer. Elle est la moyenne des hauteurs du tiers supérieur de l'ensemble des vagues (mesurées entre crêtes et creux).

**Tableau 2.2 État récapitulatif des hauteurs significatives des vagues (en m)
dans le golfe de Saint-Laurent (région de Sept-Îles)
Période : 1991-2007**

Années	Mois							
	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
1991	N.D	0,680	0,607	0,642	0,778	0,826	0,981	1,185
1992	0,030	0,473	0,684	0,808	0,753	0,841	1,213	1,151
1993	0,240	0,829	0,643	0,535	0,606	0,866	1,027	1,081
1994	N.D	N.D	N.D	0,555	0,725	0,876	1,064	N.D
1995	0,157	0,655	0,578	0,619	0,706	0,979	1,166	1,379
1996	0,695	0,453	0,573	0,841	0,526	0,742	1,078	1,075
1997	0,020	0,683	0,541	0,714	0,554	0,762	1,015	0,033
1998	0,261	0,467	0,704	0,714	0,722	0,984	1,216	1,300
1999	N.D	0,739	0,475	0,654	0,615	0,655	1,216	0,635
2000	0,027	0,572	0,580	0,527	0,589	0,807	1,008	0,620
2001	0,031	0,515	0,640	0,707	0,560	0,720	1,034	1,082
2002	0,058	0,752	0,582	0,518	0,576	0,597	1,116	0,976
2003	0,022	0,160	0,624	0,595	0,699	0,706	1,188	1,262
2004	0,021	0,331	0,553	0,497	0,545	0,683	0,791	0,076
2005	0,024	0,510	0,542	0,526	0,833	1,032	1,032	1,397
2006	0,027	0,665	0,514	0,606	0,658	0,769	1,219	0,862
2007	0,219	0,639	0,599	0,511	0,565	0,871	0,919	1,086

N.D : Valeurs non disponibles.

Source : Environnement Canada. Station Mont-Louis (49.53N, 65.72O), Bouée C45138.

**Tableau 2.3 Extrême des hauteurs significatives des vagues pour la période
1991-2001 (Station Mont Saint-Louis)**

Date	Heure	Hauteur significative (m)	Date	Heure	Hauteur significative (m)
09-07-1991	15h45mn	3,85	17-10-1996	19h45mn	4,09
12-11-1991	17h45mn	4,07	20-07-1996	13h45mn	3,84
06-08-1992	9h45mn	3,76	03-10-1996	16h45	3,37
18-10-1992	14h45mn	3,42	15-10-1996	13h45mn	3,73
14-11-1992	15h45mn	5,15	10-11-1996	2h45mn	3,99
13 -05-1993	23h45mn	3,09	01-10-1997	8h45mn	3,05
19-09-1993	5h45mn	3,74	28-10-1997	13h45mn	3,39
13-11-1993	15h45mn	3,05	13-11-1997	11h45mn	3,85
29-09-1994	4h45mn	3,25	18-11-1997	3h45mn	2,97
16-10-1995	3h45mn	3,9	25-05-1999	8h20mn	3,16
25-10-1995	22h45mn	3,17	15-10-1999	8h20mn	4,08
9-11-1995	3h45mn	4,03	23-10-1999	23h20mn	4,71
13-11-1995	7h45mn	3,59	05-11-1999	5h20mn	5,38
15-11-1995	21h45mn	5,18	19-10-2001	2h20mn	3,68
16-11-1995	14h45mn	4,94	07-11-2001	22h20mn	4,09

Source : Environnement Canada. Station Mont-Louis (49.53N, 65.72O), Bouée C45138.

Les observations effectuées sur la péninsule de Manicouagan lors des tempêtes, notamment celles de l'été 1992, de juillet 1996 et d'octobre 2002 confirment que ces dernières provoquent des modifications importantes des plages, ce qui peut favoriser une érosion graduelle des falaises jusqu'alors protégées des marais de niveau moyen (Bernatchez, 2003a).

La relation entre les fortes tempêtes et les cas d'érosion les plus extrêmes a été mise en évidence par plusieurs travaux dont ceux de Dubois et Lessard en 1984a, qui stipulent que les tempêtes seraient l'une des principales causes du recul des falaises littorales sur la moyenne Côte-Nord. Ainsi, les tempêtes de 1955, 1960, 1963 et 1983 survenues dans cette partie du Québec auraient provoqué un déséquilibre sédimentaire important des plages à la suite d'une forte érosion des falaises, notamment à Sept-Îles et Moisie, à Sheldrake, dans le secteur de la rivière Saint-Jean et à Longue-Pointe-de-Mingan. À elle seule, la tempête de 1960 dont les pointes du vent ont atteint 101 Km/h a engendré des vagues de presque 6 m de hauteur causant la destruction des quais du port de Sept-Îles (C.D. Howe Compagny Ltd, 1961).

II.3 Les précipitations

Les précipitations liquides peuvent être à l'origine de l'amplification de phénomène de l'érosion du littoral dans la Côte-Nord, en particulier, dans ses endroits les plus touchés par la déforestation, incendie de forêts, activités culturelles et l'exploitation minière.

Leurs impacts deviennent très significatifs lors des crues exceptionnelles et la fonte printanière des neiges, notamment pour les zones de secteur du Bouclier canadien connues par leur imperméabilité et leurs sols superficiels (Tableau 2.4). Elles sont également les premières responsables de l'apparition du processus de suffosion, qui constitue un cas particulier de glissement de terrains et de mouvement de masse. Elles peuvent causer des modifications énormes au niveau des littoraux et déséquilibrer

d'une manière très significative le budget sédimentaire des estuaires des fleuves de la Cote-Nord déjà fragilisés par les facteurs précités.

Dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, les eaux issues des fortes précipitations liquides et du rehaussement de la nappe phréatique, qui se retrouvent emprisonnées entre une couche sablonneuse superficielle et une autre argileuse un peu plus en profondeur, finissent par créer des galeries souterraines pour leur circulation à la limite de ces deux couches. Sous l'action anthropique, le sol situé juste en dessus de ces canalisations peut céder et provoquer des effondrements considérables (subsidence) (CRÉCN, 2006).

Tableau 2.4 Évènements de pluies diluviennes sur la Côte-Nord de 1979 à 1988

Dates	Localisation	Données météorologiques	Résultats
Du 25 au 26 mars 1979	Sept-Îles	58mm de pluie en 24h	Sous-sols inondés et inondations
Du 10 au 11 avril 1979	Sept-Îles	67mm de pluies et 16cm de neige avec des rafales de vent à 100Km/h	
Du 27 au 30 avril 1979	Côte-Nord	125mm de pluie à Sept-Îles	Inondations et fermeture de la route 138.
15 août 1980	Baie-Comeau	Pluies abondantes	Inondation
26 octobre 1980	Côte-Nord	Vents avec rafales de 95Km/h à Sept-Îles et pluie.	Inondations à Sept-Îles.
Du 20 au 20 juillet 1981	Côte-Nord	49mm	Inondations
Du 6 au 8 août 1981	Côte-Nord	80mm à Baie-Comeau et 58mm à Sept Îles	Inondations
22 juillet 1982	Est de la Côte-Nord	95mm de pluie à l'île d'Anticosti et 50mm à Natashquan	Ponts et tronçons de route détruits et inondations.
Du 4 au 5 novembre 1982	Côte-Nord	87 mm de pluie à Baie-Comeau	Inondations.
Du 18 au 25 avril 1983	Côte-Nord	Pluies fortes et temps doux.	Rivière Moisie à 6 m au dessus de la normale. Glissement de terrain.
1 ^{er} décembre 1987	Côte-Nord	5 mm de pluie à Baie-Comeau, 80mm à Sept-Îles et 120mm au Havre-Saint-Pierre.	Glissement de terrain à Sept-Îles et Magpie.
02 mars 1988	Basse Côte-Nord	41mm de pluie dont 12mm en 12h à Natashquan.	
05 septembre 1988	Sept-Îles	38 mm de pluie en 6h, 56 mm en 24 h et rafales de vent à 70Km/	

Source : CRÉCN, 2006

II.4 Le gel-dégel

Si l'action du gel n'est pas tellement évidente sur les falaises à base de roches cristallines, elle est plutôt nettement visible sur les roches friables et fissurées comme les roches sédimentaires qui composent en grande partie les rives de la Côte-Nord.

L'agressivité de ce processus est fonction de la présence d'eau dans les fissures et les cavités des roches, de la profondeur de pénétration de gel dans les sols argileux, mais aussi de l'importance de l'alternance des cycles gel-dégel.

Bernatchez (2003a) s'est aperçu qu'un dégel répétitif des parties superficielles (entre 05 et 30 cm) des falaises situées dans des endroits non protégés par les amas de neige entraîne la cryoclastie⁷ des dépôts argileux et silteux marins. Il peut également modifier la texture en donnant naissance à des coulées boueuses au niveau des formations de silt et de sables fins prodeltaïques. L'action du gel joue également un rôle fondamental dans l'évolution des basses terrasses et des falaises des complexes deltaïques exposés au versant sud et dépourvus de toute couverture de neige protectrice. Des relevés effectués dans la région de Manicouagan démontrent, sur une base annuelle, qu'en moyenne, 65% du recul total des falaises composées de sédiments fins serait directement lié à l'action de gel, principalement dans la période glacielle, où les vagues n'affectent en rien la base des falaises (Bernatchez et Dionne, 1999; Bernatchez, 2003b).

La congélation des eaux interstitielles emprisonnées dans les parois des falaises exerce une pression hydrostatique tous azimuts et conduit dans la plupart des cas à la fragmentation des pans des falaises. Ceci est en grande partie responsable de l'écroulement des falaises elles-mêmes. Ce phénomène est très fréquent dans les secteurs où il y a remontée de la nappe phréatique et la résurgence de l'eau au contact entre les sédiments sableux de surface et dépôts argileux sous-jacents

⁷ Cryoclastie : Phénomène géomorphologique engendrant la fragmentation des roches à la suite de la congélation des eaux situées dans leurs fissures et cavités.

II.5 Les changements climatiques

Résultant d'une forte émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre à la suite d'une importante industrialisation du monde d'aujourd'hui, mais également d'une destruction massive du couvert végétal et d'une perturbation de l'activité photosynthétique marine⁸, les changements climatiques sont à l'origine de variations de régime des températures et des précipitations à l'échelle planétaire (Paskoff, 2001).

La concentration du dioxyde de carbone, par exemple, a augmenté de près de 30% depuis l'ère industrielle, bien que plus de la moitié des émissions anthropiques ait été absorbée par la biosphère terrestre et les phytocénoses marines. L'augmentation des gaz à effet de serre liée à des effets anthropiques comme le refroidissement dû aux aérosols, le changement de vocation des terres, la modification de l'albédo se traduisent par un forçage radiatif⁹ considérable. Ce réchauffement global entraîne des modifications importantes, à présent visibles dans de nombreux domaines.

Le contenu moyen de l'atmosphère en vapeur d'eau s'est accru au-dessus des terres et des océans, ainsi que dans la haute troposphère en accord avec l'idée qu'un air plus chaud peut contenir un supplément de vapeur d'eau.

Les observations depuis 1961 montrent que la température moyenne des océans a augmenté jusqu'à des profondeurs de 3000 mètres et que ces derniers ont absorbé plus de 80% de la chaleur ajoutée au système climatique. Un tel réchauffement provoque une expansion thermique, contribuant ainsi à l'augmentation du niveau marin mondial (Delecluse, 2007).

⁸- La pollution des mers et océans a un impact direct sur la flore marine, notamment sur les phytoplanctons qui sont les principaux consommateurs de dioxyde du carbone et les premiers fournisseurs de la planète en oxygène.

⁹- Le forçage radiatif est défini comme la différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise par un système climatique donné

Au Québec, les changements climatiques caractérisés souvent par le bouleversement de régime des précipitations et de la fonte des glaciers auraient favorisé le haussement des niveaux d'eau et accentué l'érosion des côtes. L'effet dévastateur de ces modifications s'est déjà senti depuis plusieurs années. On assiste plutôt à des hivers plus doux avec des précipitations liquides plus fréquentes, et à des étés plus secs avec de fortes précipitations orageuses.

Savard (1998) souligne que les rivières Sainte-Marguerite et Portneuf, toutes deux situées dans la Côte-Nord, ont beaucoup perdu de leur hydraulicité durant les vingt dernières années. Il estime que l'intensité de leur crue a diminué de 35 à 45% durant la période précitée suite à des hivers plus doux, ce qui a influencé directement sur leur pouvoir érosif et leur capacité de transport de sédiments jusqu'aux côtes. Par ailleurs, des étés secs, avec d'abondantes fortes précipitations semblent favoriser la dessiccation, la suffosion¹⁰, les ravinements, les mouvements de masse, la déstabilisation des falaises et la fragmentation des roches (Bernatchez, 2003a).

Le tableau 2.4 renfermant les données compilées par Lacroix et Boivin (1991b) des principaux événements de précipitations diluviennes tombées sur la Côte-Nord durant la période de 1979 à 1988, montre que ces pluies occasionnent des inondations annuelles, voir même plusieurs fois par années comme ce fut le cas pour les années 1979, 1980, 1981 et 1982. D'importants glissements de terrain et des ravinements ont été également enregistrés durant les années 1982, 1983 1987 sur la Côte-Nord, notamment à Sept-Îles, Natashquan et Baie-Comeau.

L'étude sur la sensibilité des côtes et vulnérabilités des communautés du golfe du Saint-Laurent aux changements climatiques qui s'est déroulé dans le golf de Saint-Laurent, plus particulièrement sur les territoires des municipalités de Sept-Îles

¹⁰- Suffosion : Formation d'une dépression à la surface du sol à la suite de l'affaissement d'une zone décomprimée résultant de l'entraînement des particules les plus fines par des écoulements souterrains.

et des Îles-de-la-Madeleine par le consortium OURANOS¹¹, a démontré, d'une manière globale que :

- Le niveau de la mer est en hausse et touche la région de l'est du Québec; l'impact sur les risques de submersion et sur les taux d'érosion continuera de s'aggraver.
- Les simulations de la dynamique des glaces réalisées pendant l'étude montrent que la saison des glaces diminuera d'environ six semaines d'ici l'an 2050. Les glaces de mer seront plus mobiles, surtout dans le nord du golfe.
- Environ, 30 à 40% des tempêtes qui touchent les côtes se produisent en hiver. Une modélisation du climat et de la dynamique des glaces indique que le nombre de vagues produites par les tempêtes augmentera et que la diminution de la couverture de glace accroîtra leurs effets sur le littoral.
- La fréquence des pluies et des redoux hivernaux ainsi que les précipitations intenses a contribué à augmenter l'érosion des falaises entre 1992 et 2006, et une croissance de l'occurrence de ces phénomènes est anticipée (Ouranos, 2008).

II.6 La hausse du niveau marin

L'élévation du niveau planétaire des mers et des océans, représente une des conséquences à attendre du réchauffement de l'atmosphère terrestre que l'on constate aujourd'hui, et pour lequel on prévoit une accélération en liaison avec l'effet de serre additionnel dû aux activités humaines (Paskoff, 2000). La décroissance généralisée des glaciers et des calottes glacières a également contribué à l'augmentation du niveau de la mer.

¹¹ Ouranos : Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques au Québec

Cependant, cette augmentation peut être liée également à des causes naturelles. Au Canada par exemple, l'érosion actuelle des côtes serait en outre, un corollaire de la variation du niveau moyen de l'océan par rapport au continent (eustasie¹²), qui elle, même, une réponse dynamique au dernier événement glaciaire survenu y a presque 20 000 ans (Lessard et Dubois, 1984ab). L'affaissement progressif du socle rocheux sous le poids des inlandsis¹³ (subsidence glacio-isostatique) peut également jouer un rôle considérable dans l'élévation du niveau marin des océans.

Cette élévation est à l'origine de recul des continents dans une bonne partie du monde. Elle met en péril des littoraux qui nous sont familiers. Les terres humides, qui constituent des écosystèmes importants et qui forment des barrières très efficaces contre l'érosion des rivages, disparaissent graduellement. Les falaises et les plages sont plus sensibles à l'érosion par les vagues. Les nappes souterraines sont davantage susceptibles d'être contaminées par les eaux salées, et les terres basses du littoral peuvent être inondées et emportées facilement.

L'augmentation totale du niveau marin à l'échelle mondiale sur le XX^e siècle est estimée entre 12 et 22 cm, avec une vitesse moyenne de 1,8mm par an de 1961 à 2003 (Delecluse, 2007). Cette vitesse a été plus rapide de 1993 à 2003, soit environ 3.8mm/an (Tableau 2.5)

¹² Eustasie : variation des niveaux des mers due aux modifications géologiques et aux transformations des glaciers.

¹³ Inlandsis : Glacier continental très étendu (calotte glaciaire).

Tableau 2.5 Vitesse d'élévation du niveau de la mer (mm/an)

Facteur d'élévation du niveau de la mer	1961-1993	1993-2003
Dilatation thermique	0.42±0.12	1.6±0.5
Glaciers et calottes glacières	0.50±0.18	0.77±0.22
Fonte du Groenland	0.05±0.12	0.21±0.07
Fonte de l'Antarctique	0.14±0.41	0.21±0.35
Somme des contributions liées aux climats	1.1±0.5	2.8±0.7
Élévation totale observée du niveau de la mer	1.8±0.5	3.1±0.7
Différence (observation moins la somme des contributions du climat)	0.7±0.7	0.3±1
N.B : Les données antérieures à 1993 proviennent de marégraphes, celles postérieures à 1993 d'altimétrie satellitaire.		

Source : Ifen-Observatoire du littoral, d'après EuroSION database, 2007

Au Canada, et contrairement aux côtes atlantiques et le sud du golf de Saint-Laurent où des mesures de hausse du niveau marin moyen relatif sont disponibles depuis 1894 : Halifax, 3,18 mm/année (1896-1988), Saint-Jean, 2,2 mm/année (1894/1988) et Charlottetown avec 3,12 mm/année (1907-1988), il n'existe pratiquement pas de telles mesures pour le golfe de Saint-Laurent. Cependant, des indicateurs naturels démontrent que cette hausse est du moins de 1 mm/année, en moyenne, depuis presque 6500 ans. (C.R.É.C.N, 2006).

Shaw et al. (1984) dans le rapport de la Conférence régionale des élus de la Côte-Nord relatif aux risques de l'érosion littorale, estiment qu'au moins la Haute et la Moyenne-Côte-Nord ainsi que l'île d'Anticosti seraient en phase de submersion et que toute la Côte-Nord le serait d'ici un siècle. Ils mentionnent également qu'il y a 3% des côtes canadiennes humanisées qui seraient sensibles à une hausse du niveau marin relatif (Figure 2.4).

Tableau 2.6 : Tendence du niveau marin pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

Localité	Période	Niveau (mm/an)	Auteurs
Porneuf	1962-1988	6,9	Anctil et Troude (1992)
Neuveville	1962-1989	3,3	Anctil et Troude (1992)
Lauzon	1962-1988	0,0	Anctil et Troude (1992)
Saint-François	1965-1980	2,5	Emery and Aubrey (1991)
Saint-François	1962-1988	0,5	Anctil et Troude (1992)
Québec	1844-1920	-3,7	Gutenberg (1941)
Québec	1937-1970	-0,5	Dohler and Ku (1970)
Québec	1894-1949	-0,9	Pirazzoli (1986)
Québec	1965-1980	3,2	Emery and Aubrey (1991)
Rivière-du-Loup	1970-1980	-8,0	Emery and Aubrey (1991)
Rivière-du-Loup	1968-1980	-8,8	Anctil et Troude (1992)
Saint-Jean-Port-Joli	1969-1978	-10,0	Anctil et Troude (1992)
Saint-Joseph-de-la-Rive	1970-1988	-4,8	Anctil et Troude (1992)
Pointe –au-Père	1897-1928	-3,5	Gutenberg (1941)
Pointe –au-Père	1897-1977	-0,2	Pirazzoli (1986)
Sainte-Anne-des-Monts	1970-1980	-2,2	Emery and Aubrey (1991)
Tadoussac	1968-1980	-5,7	Emery and Aubrey (1991)
Sept-Îles	?	1,9	Carrera et al (1991)
Harrington Harbour	1939-1970	1,2	Dohler and Ku (1970)
Harrington Harbour	1940-1979	0,0	Pirazzoli (1986)
Harrington Harbour	1940-1980	-0,3	Emery and Aubrey (1991)
Harrington Harbour	1940-1989	-0,8	Shaw et all (1998a,b)

-: Baisse du niveau marin, +: Hausse du niveau marin

Source : CRÉCN (2006) P 84

Dubois et Lessard (1986), et par segmentation des données marégraphiques issues de plusieurs stations dans la Côte-Nord, ont pu mettre en évidence la relation entre certaines périodes de forte érosion enregistrée sur la Côte-Nord et les périodes de hausse du niveau marin. Ce corollaire a été confirmé par ces mêmes auteurs, qui, par l'utilisation de piquets repères sur certains sites de la moyenne Côte-Nord durant la période 1981 à 1985, ont pu constater que le taux de recul moyen pour les années 1981-1982 et 1983-1984 respectivement de -1,41 m/an et -2,37 m/an, correspond à une hausse du niveau marin relatif alors que le taux de recul moyen est plus faible (-0,72 m/an et -0,53 m/an) pour les périodes 1982-1983 et 1984-1985, ce qui correspond à une baisse du niveau marin.

Toujours dans le même contexte, les experts d'Ouranos dans leurs rapports sur l'impact des changements climatiques dans le golfe de Saint-Laurent publié en 2008 soulignent que la hausse du niveau de la mer augmente les risques de surcote, exposant les hauts de plages, les talus côtiers et même les infrastructures à l'action des vagues. Ils prévoient même que la Côte-Nord du golfe de Saint-Laurent passera en submersion nette d'ici la fin du 21^e siècle.

Les résultats des analyses de données marégraphiques effectuées par plusieurs auteurs et pour différents sites tout au long du Saint-Laurent (Tableau 2.6) présentent des tendances divergentes entre émergence, submersion et stabilité. Mais dans son ensemble, ils affirment que l'estuaire et le golfe du fleuve Saint-Laurent ont subi une émergence lente depuis une centaine d'années, jusqu'aux années 1980. Ceci amène à dire que le relèvement isostatique exerce toujours une légère influence sur les côtes du Saint-Laurent.

À Sept-Îles, le golfe du Saint-Laurent, et à l'instar de la plupart des plans d'eau subit des fluctuations au niveau de ses débits volumiques et des hauteurs d'eau. L'analyse des données recueillies dans la station 2780 de Sept-Îles sur les marées et les niveaux d'eau (période 1972 à 2008) laisse apparaître des répartitions saisonnières bien distinctes, marquées surtout par leur différence par rapport à celles de ces

dernières années. À travers les données reflétées dans le tableau 2.7, et à l'exception des années 1974, 1989, 1990 et 1992 qui affichent les valeurs du niveau d'eau moyen annuel les plus bas, on constate que le niveau moyen de référence retenu pour la station de Sept-Îles qui est de l'ordre de 1,49 m est largement dépassé pour tout le reste des années. On note toutefois que les niveaux d'eau les plus élevés sont enregistrés à partir de l'année 1994 par 1,64 m par rapport au zéro des cartes marines (ZC). Ceci peut être expliqué probablement par le réchauffement climatique que connaît notre planète durant ces dernières années et qui s'est accéléré d'une manière significative suite à la fonte des glaciers dans l'extrême nord.

En moyenne, le niveau d'eau moyen annuel enregistré depuis la mise en place de la station de Sept-Îles en 1972 est de 1.54 m. la variation de la moyenne annuelle entre la période 1972-2008 est parfois importante comme on peut le constater sur la figure 2.3.

D'une manière générale, les niveaux d'eau dans le golfe de Saint-Laurent les plus haut sont atteints durant l'été au lieu du printemps, en raison de la fonte tardive des glaces dans cette région nordique. Toutefois, et contrairement à l'accoutumée, des niveaux d'eau appréciables ont été enregistrés également durant le printemps et parfois même en hiver (janvier, février) pour cette dernière décennie qui se démarque des autres périodes par des hivers plus doux avec plus de précipitations liquides que solides, et des étés secs avec de fortes précipitations orageuses.

Tableau 2.7 Variation du niveau d'eau dans le golfe de Saint-Laurent
Période de 1972-2008
Station: de Sept-Îles, n° 2870

Années	Niveau d'eau (m)	Années	Niveau d'eau (m)
Année 1972	1,53	Année 1991	1,50
Année 1973	1,52	Année 1992	1,45
Année 1974	1,49	Année 1993	1,57
Année 1975	1,50	Année 1994	1,64
Année 1976	1,53	Année 1995	1,63
Année 1977	1,56	Année 1996	1,58
Année 1978	1,54	Année 1997	1,62
Année 1979	1,51	Année 1998	1,59
Année 1980	1,51	Année 1999	1,57
Année 1981	1,55	Année 2000	1,54
Année 1982	1,51	Année 2001	1,56
Année 1983	1,59	Année 2002	1,53
Année 1984	1,56	Année 2003	1,58
Année 1985	1,57	Année 2004	1,54
Année 1986	1,55	Année 2005	1,55
Année 1987	1,54	Année 2006	1,57
Année 1988	1,54	Année 2007	1,55
Année 1989	1,49	Année 2008	1,56
Année 1990	1,48		

Source : Pêche et Océans Canada, 2008

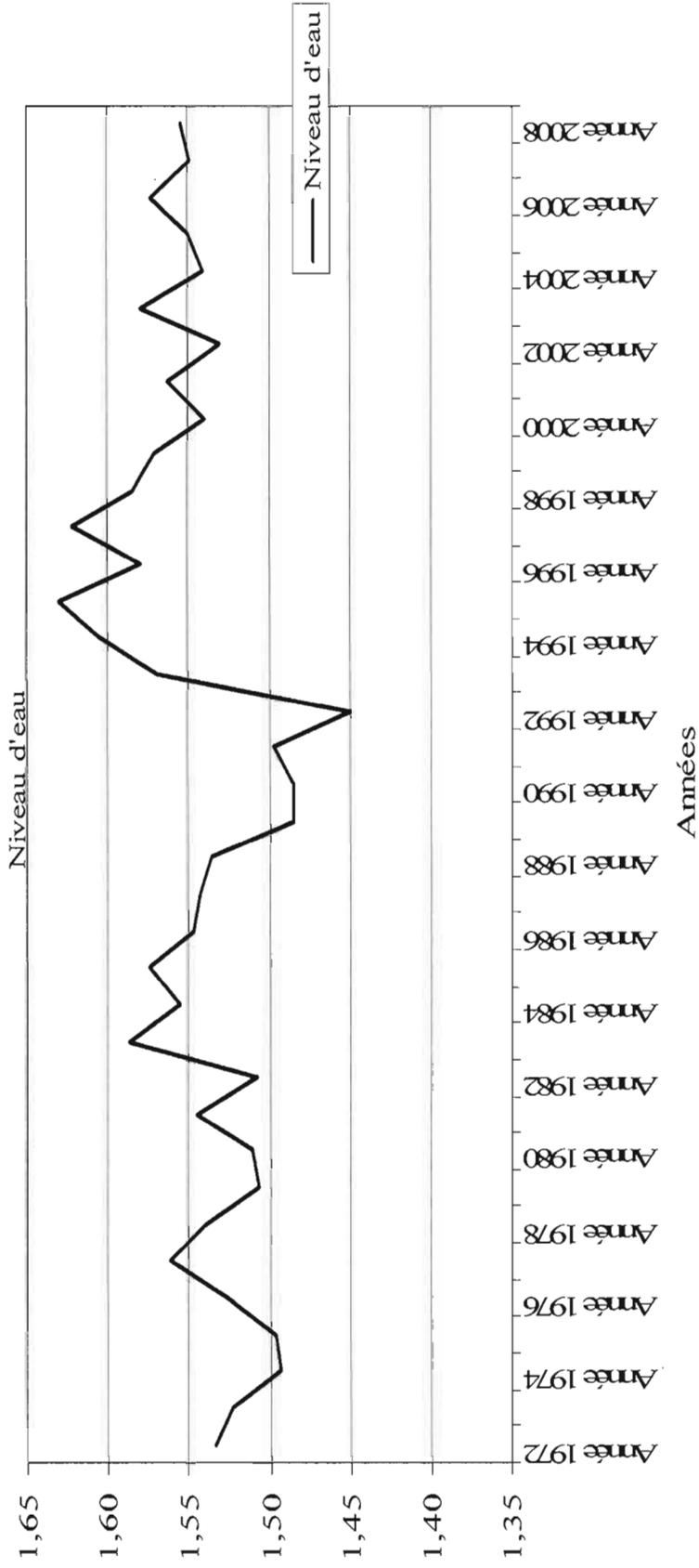


Figure 2.3: Représentation graphique des niveaux d'eau dans le golfe de Saint-Laurent, Station de Sept-Îles, n° 2870 (1972-2008)

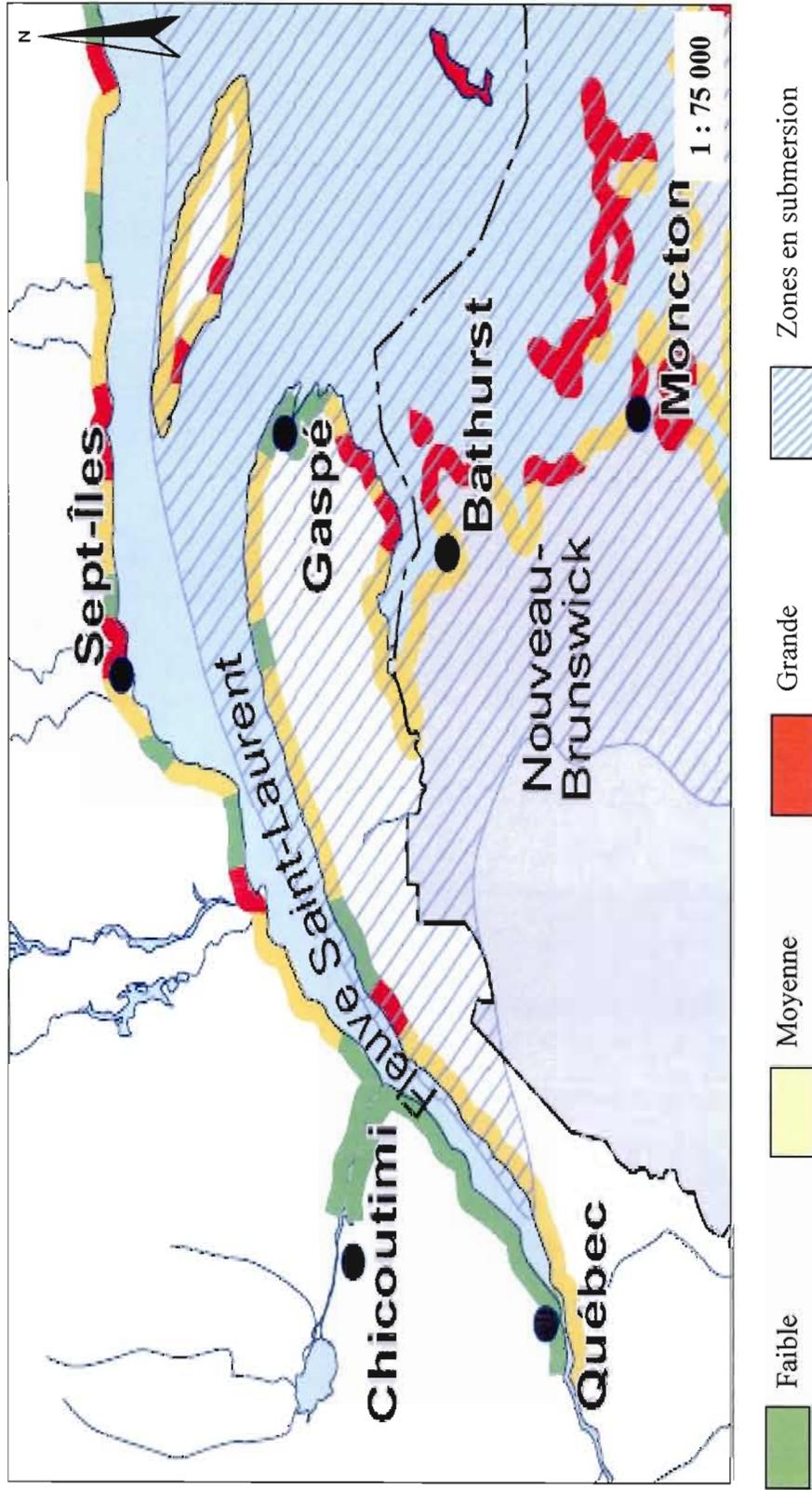


Figure 2.4 Les zones sensibles à l'érosion côtière sur la Côte-Nord suite à l'élévation du niveau marin

Source : Atlas Canada, 2009

II.7 Déséquilibre sédimentaire

Par définition, les plages, étant des formes d'accumulation. Leur érosion actuelle témoigne d'un renversement de leur tendance évolutive.

L'amplification et l'intensification du phénomène de l'érosion côtière à l'échelle du globe tiennent avant tout à une cause naturelle de portée planétaire, qui est un déficit en sédiments (Paskoff, 2001).

Au Canada comme dans la péninsule scandinave et le nord de la Russie, une bonne partie des matériaux des plages sont hérités de la transgression postglaciaire. Ils ont pour origine les plateaux continentaux et ont été repoussés vers le haut par la mer au cours de sa remontée. Lorsque le niveau marin a commencé à se stabiliser il y a environ 6000 ans, dans les régions éloignées des anciennes calottes glaciaires, il y a eu dans un premier lieu une abondance en matériaux de plage; puis, l'épuisement des réserves en sédiments de l'avant-côte avec le dépôt des ces derniers ont provoqué une pénurie en matériaux solides qui s'est poursuivit jusqu'à nos jours. Depuis, le rapport de force entre la disponibilité en sédiments et les agents en action avait basculé en faveur de ces derniers, ce qui explique la prédominance de l'érosion côtière dans le monde depuis quelque deux siècles (Pirazzoli, 1993; Paskoff, 2001).

Sur la Côte-Nord du Québec, et plus précisément dans la baie de boule dans la région de Sept-Îles et à l'ouest de la rivière Mingan, la diminution de la charge sédimentaire sur les plages est aggravée probablement par la présence de courants d'arrachement responsable du transport d'une bonne partie des sédiments vers le large (Dubois, 1979b). Il en est de même aussi des nombreux cours d'eau qui segmentent la dérive littorale et qui servent d'évacuateurs de sédiments vers le large. C'est probablement le cas à l'embouchure des rivières Moisie, Saint-Jean, aux Outardes et Manicouagan. En outre, dans cette zone de la Côte-Nord, la présence du Chenal laurentien, profond de plus de 300m par endroits juste près du littoral, joue également un rôle primordial dans le déficit sédimentaire que connaissent ces secteurs, car les sédiments constitués

en grande partie de sable que reçoit ce chenal ne peuvent plus regagner le système hydrosédimentaire de la côte.

Cependant, le déséquilibre du budget sédimentaire dont souffraient les plages et les côtes n'est pas seulement l'œuvre des conditions naturelles, il a été malheureusement, à beaucoup d'endroits à travers le monde aggravé par les actions anthropiques de plus en plus agressives sur des milieux aussi fragiles que les littoraux. D'abord, à des époques qui varient d'une région à l'autre, les déboisements et les défrichements des espaces boisés ont livré aux rivières, qui l'ont acheminé vers les estuaires des mers et des océans, un surplus sédimentaire d'origine continentale qui a nourri de nombreux littoraux. Puis, plus récemment, l'artificialisation des côtes, la construction des ports sur des plages ouvertes, la promotion du tourisme par l'installation de grandes stations balnéaires, la construction des barrages sur les fleuves et les prélèvements excessifs des sables effectués dans les lits des cours d'eau (parfois même dans les plages et les dunes littorales) pour les chantiers de construction, ont nettement diminué la quantité du matériel pouvant être distribué sur les plages et les côtes par la dérive littorale (Pirazzoli, 1993). Il apparaît clairement donc que tout porte à constater que les responsabilités humaines en matière de changement du rythme de l'érosion littorale sont importantes. L'homme a accéléré une tendance déjà très ancienne. Il lui faut maintenant en prendre conscience et s'y adapter. Ce n'est pas forcément le plus simple.

II.7.1 Construction des barrages

L'épuisement de sédiments après le recul de glaciers qui couvraient autrefois une bonne partie des continents a fait que l'alimentation des côtes en sables et galets était revenue aux fleuves et cours d'eau qui débouchent directement dans les mers et les océans. Or, depuis plusieurs millénaires, un peu partout dans le monde, les fleuves anthropisés au service de l'espèce humaine ont fait l'objet de grands travaux

d'aménagement qui ont modifié considérablement leurs débits volumiques et aggravé davantage le déséquilibre sédimentologique des estuaires déjà fragiles.

La construction des barrages sur les fleuves a eu des effets spectaculaires, et cela d'autant plus que ces installations sont de grande envergure. Ces véritables pièges à sédiments constituent l'une des principales responsabilités de l'homme dans la déstabilisation des espaces côtiers. Le blocage de débit volumique par de telles infrastructures conduit automatiquement à une diminution très sensible des apports en sédiments sur les rivages déjà marqués naturellement par une pénurie. Le recul du delta du Nil en Égypte en est le meilleur exemple. Après la mise en service du barrage d'Assouan en 1971, les limons apportés par les crues d'avant construction restent en grande partie bloqués en amont de la digue, comblant trop vite le lac, et le fleuve n'entraînait plus jusqu'au delta les agrégats et les particules solides qui empêchaient la méditerranée de gagner sur les terres, ce qui a accentué davantage l'érosion littorale. On estime que presque la totalité des 85 millions de tonnes de sédiments que le Nil devait véhiculer annuellement vers la méditerranée a été bloquée (Miossec, 1998). Également, en l'absence de crues, le fleuve ne chasse plus les sels d'origine maritimes remontés avec les eaux souterraines ce qui a causé la stérilisation de plusieurs milliers d'hectares agricoles.

Pas loin du Nil, la charge solide du fleuve Danube en Europe qui déversait dans la mer Noire a diminué de 1/10 pendant la période 1970-1980. Le Rhône qui transportait environ 40 millions de tonnes au milieu du XIXe siècle ne charrie guère plus de 4 à 5 millions de tonnes aujourd'hui (Miossec, 1998).

Un autre cas plus illustratif est celui que fournit la côte du Togo. Les plages qui la frangent connaissent une légère tendance au repli, mais leur érosion s'est subitement accentuée après la construction du barrage d'Akosombo sur la Volta au Ghana voisin qui entra en service en 1965. Ce barrage piège 95% des transports solides et la totalité des sables, soit environ 3 millions de mètre cube, ce qui représente le double de la capacité de transport de la dérive littorale. Cette réduction a

eu assez vite des répercussions sur les rivages qui ont connu des reculs spectaculaires, jusqu'à 40 m /an dans certains endroits au Togo, (Miossec, 1998 ; Paskoff , 2005).

Au Canada, et plus précisément en Alberta, le réservoir formé par le barrage Bassano sur la rivière Bow a vu sa capacité passer de 34 millions m³ à 11 millions de m³ en soixante ans environ (1911 à 1977) (BAXTER, 1980). Au Québec, Hydro-Québec reconnaît dans sa propre étude d'impact que son projet hydroélectrique sur la rivière Romaine en Côte-Nord pourrait avoir un impact sur le transport des sédiments vers l'aval. L'effet des réservoirs liés à cet aménagement fera en sorte que l'embouchure de la Romaine sera privée annuellement de 3200 à 5200 tonnes de sédiments (BAPE, 2009). Il est à signaler que quelque 9200 tonnes de sables et autres particules solides transitent chaque année par la Romaine vers l'embouchure de l'estuaire au golfe de Saint-Laurent au nord du Havre-Saint-Pierre (Cardinal, 2008).

La construction des barrages influe également sur le transport et la répartition des sédiments qui, dans les conditions naturelles, représente un équilibre dynamique entre l'énergie du débit et l'effort effectué pour déplacer les charges solides. L'abolition des apports en sédiments par l'installation des infrastructures hydrologiques sur les cours d'eau se traduit souvent par un déversement en aval d'une eau à faible teneur en particules solides. Cette dernière provoque un creusement du lit de fleuve ce qui compense partiellement la perte en sédiments. Cependant, et faute d'énergie mécanique suffisante en raison de la faible capacité dynamique du cours d'eau, les sédiments arrachés ne peuvent être transportés sur des grandes distances pour alimenter les plages et les côtes (Nations unies, 1983).

Les installations hydroélectriques sur la rivière Sainte-Marguerite dans la région de Sept-Îles en est un bel exemple de cette situation (Figure 1.4). En effet, la moyenne annuelle du débit de cette rivière mesurée au barrage SM-2 à la suite de remplissage du réservoir de la centrale hydroélectrique SM-3 située en amont, a été réduite de 76% durant la période 1998-2000, ce qui correspond en pratique à la proportion de la superficie drainée du bassin versant de la rivière. Le nouveau débit constaté s'est caractérisé par la suite par la disparition des pointes de crues, en particulier celle de

printemps responsable en grande partie du transport de sédiments vers l'estuaire (BAPE, 2001).

Il est à noter que l'aménagement hydroélectrique de la Sainte-Marguerite-3 prévoyait à l'origine la dérivation partielle de deux tributaires de la rivière Moisie, soit les rivières aux Pékans et Carheil situées en tête du bassin de la Moisie. Toutefois, cette alternative a été écartée par la commission du BAPE afin de ne pas perturber le régime d'écoulement de la rivière Moisie et d'éviter une réduction de son débit volumique estimé à 13% selon l'étude d'impact d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2002).

La réduction des débits volumiques au niveau des embouchures facilite l'accessibilité des marais en terres fermes (intrusion saline) et accentue le phénomène de l'érosion. Sur la Côte-Nord,

II.7.2 Prélèvement de sédiments de lits des cours d'eau

Si le bois constitue toujours le principal matériau de construction dans les pays nordiques où sévissent les conditions climatiques les plus extrêmes, le sable et les galets demeurent incontestablement les matériaux les plus utilisés à travers le monde. L'augmentation vertigineuse de la demande en granulats pour satisfaire les besoins de secteur du bâtiment, des infrastructures et des grands travaux publics en croissance continue, a fini par l'extraction de volumes colossaux des sédiments à partir de lits des fleuves et cours d'eau, ce qui s'est répercuté négativement sur l'alimentation des rivages. En France, et plus précisément en Corse orientale, on a pu extraire du fleuve Golo des volumes de sédiments dont le poids a varié, selon les années entre 100 000 et 750 000 tonnes. Or, la charge fraîche de ce cours d'eau n'est que d'environ 30 000 tonnes annuellement (Paskoff, 2002).

Mais l'extraction du sable et galet comme principaux matériaux de construction ne s'est pas limitée uniquement aux fleuves. Elle est passée au-delà des plages et dunes maritimes pour atteindre les rivages. Dans de nombreux pays, en développement notamment, ces sédiments ont fait l'objet d'extraction sauvage. Au Maroc par exemple, on puisait des dunes maritimes de Casablanca entre 100 et 600 m³/jour du sable, sachant que les besoins de la ville ont été estimés à plus de 1,5 million de tonnes (Madouni, 1997). Pour la France, les valeurs sont également éloquentes. On a extrait plus de 500 000 m³ de sable des côtes landaises, des sables grossiers notamment, pour satisfaire les besoins de constructions (Miossec, 1998).

II.8 L'imperméabilisation des espaces côtiers

Le niveau global des océans était déjà à la hausse depuis la dernière période glaciaire, mais la modification du climat en a provoqué l'accélération. Cependant, les changements climatiques ne sont pas les seuls responsables de la hausse du niveau marin dans le monde. Les activités humaines par la modification du bilan hydrologique des écosystèmes continentaux contribuent aussi au rehaussement d'eau des mers et des océans. En effet, la rareté des eaux superficielles dans pas mal de régions désertiques à travers le globe, notamment en Afrique du Nord, en Australie, dans la péninsule arabique et le golfe Persique, a poussé les gens à aller puiser cette ressource essentielle dans les plus profondes entrailles de la Terre. Encouragé par les techniques les plus performantes et des moyens technologiques de pointe, l'être humain a pu atteindre les nappes aquifères les plus éloignées et effectuer de volumineux prélèvements dans les eaux souterraines fossiles, qu'il déverse par la suite dans les mers et océans. L'imperméabilisation des espaces côtiers par les constructions et les infrastructures d'équipement, la destruction des écosystèmes forestiers, les défrichements ainsi que le drainage des terres humides ont favorisé le ruissellement et l'écoulement superficiel au détriment de l'infiltration et de

l'alimentation des nappes phréatiques ce qui a considérablement contribué à l'augmentation du niveau de la mer.

Nous venons d'aborder les principaux agents et processus érosifs qui par leurs actions isolées ou conjuguées peuvent significativement altérer d'une façon inégale le littoral de la Côte-Nord. L'étude diachronique de photographies aériennes pour la zone à l'étude (Pointe aux Basques-Rivière moisie) qu'on va aborder dans le chapitre suivant permettra d'évaluer les taux d'évolution du trait de la côte dans ce secteur et probablement de mettre en évidence des éventuelles corrélations entre les résultats obtenus et les processus précités.

PARTIE III

MESURE DE L'ÉROSION CÔTIÈRE

III. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

III.1 Introduction

L'approche méthodologique de cette étude consiste à combiner la géomatique et la photo-interprétation pour mesurer le déplacement annuel du trait de la côte du tronçon « Pointe Aux Basques - Rivière Moisie » dans la région de Sept-Îles à l'aide d'une analyse de mission de photographies aériennes couvrant une période de 50 ans. Elle a pour but de quantifier la dynamique spatio-temporelle du trait de côte, et de prévoir le comportement futur probable du littoral de la zone à l'étude, soit à court, et à long terme afin de pouvoir diagnostiquer le degré de risque de la façon la plus juste possible. Dans un second temps, elle vise essentiellement à chercher d'éventuelles synchronisations entre les effets extrêmes des processus érosifs et les taux de recul enregistrés.

Les photographies aériennes utilisées dans notre étude diachronique sont issues de prises de vue verticales dont l'échelle varie entre le 1 :15 000 et le 1 :40 000 et concernent les couvertures aériennes de: 1950, 1976, 1987 et 2001. Leur résolution au sol est de 50 cm. Tableau 3.1

Le choix de ces quatre lignes de vol a été imposé en quelque sorte par la disponibilité des images, mais également par le désir d'avoir une idée sur le comportement de la ligne de rivage avant la mise en service de la centrale hydroélectrique SM-3 sur la rivière Sainte-Marguerite, car les deux premières, installées bien avant, en l'occurrence les centrales SM-2 et SM-1 (mise en service respectivement en 1954 et 1993) sont des petites installations de type au fil de l'eau (sans réservoir) et ne peuvent avoir de conséquences graves sur la rétention des sédiments.

Il est à noter que le réservoir de la SM-3 est d'une superficie de 253 km², avec une profondeur maximale de 145 m. Son remplissage a duré presque trois ans et n'a été complété qu'en 2001.

Tableau 3.1 Ressources cartographiques et données de télédétection utilisées

Type de document	Année d'acquisition	Type de caméra	Longueur focale	Résolution au sol (m)	Nom de ligne de vol	Numéro d'image	Échelle
Photographie aérienne	01 juin 1950	Williamson O.S.C No.156 R.C.A.F	153,25mm	0,5	A12763	381 à 386	1 :36 780
	20 juillet 1976	RC8	159,031mm	0,5	Q76396	04 à 15	1 :15 000
	19 juillet 1987	RC-10	151,983mm	0,5	Q87537	03 à 14	1 :15 000
	06 septembre 2001	RMK A	152,901mm	0,5	Q01809	43 à 48	1 :40 000
Carte numérique multicouche							1 :25 000

III.2 Historique et méthodes antérieures utilisées à Sept-Îles pour étudier l'évolution de trait de la côte

L'étude des évolutions passées dans une zone littorale pour l'évaluation des taux de recul ou de l'avancement d'un espace côtier déterminé peut s'effectuer selon différentes méthodes d'analyse. L'interprétation de photographies aériennes, l'analyse des cartes (historiques, topographiques, hydrographiques et bathymétriques), étude des images satellitaires, des relevés sur terrains et des enquêtes auprès de la population riveraine constituent autant de sources d'information pour étudier la dynamique du trait de la côte (Grenier et Dubois, 1990).

La méthode d'analyse diachronique, basée sur la comparaison de photographies aériennes, permet d'apprécier la dynamique du trait de côte au cours d'un intervalle de temps donné. Elle permet également la confrontation des résultats avec les données historiques multisources et de mieux comprendre les effets des processus érosifs ainsi que l'impact des aménagements successifs tant en aval qu'en amont sur le système côtier.

Au golfe de Saint-Laurent en Côte-Nord, et en fonction du matériel de base disponible (ressources cartographiques et de télédétection), les données sur l'évolution du trait de la côte proviennent en grande partie des recherches effectuées par Dubois et ses collaborateurs (CRÉCN, 2006). Ainsi, pour la période de 1982 à 1985, l'arpentage par des piquets a été la technique nouvellement appliquée dans la région pour suivre de près la dynamique de la ligne de rivage. Entre 1930 et 1996, les taux de recul de trait de la côte ont été obtenus à partir des études multitudes de photographies aériennes, mais aussi par analyse des cartes cadastrales pour ce qui est de la période allant de 1866 à 1933. (Tableau 3.2)

À partir de 1996, et en outre les moyens précités d'acquisition de données pour l'étude de recul de la ligne de rivage, une nouvelle technologie basée sur la vidéographie aéroportée a été utilisée sur le littoral de la municipalité de Sept-Îles en

2006 par la Firme Lasermap (GPR / Rousseau-Babin et ass.). Bien que peu onéreuse, cette technique demeure selon les experts de l'entente spécifique de la Côte-Nord sur l'érosion des berges la façon la plus appropriée pour acquérir une information plus précise et uniforme sur l'évolution des espaces côtiers.

Selon les données sur le taux de recul des côtes dans le golfe de Saint-Laurent, Sept-Rivière représente la deuxième M.R.C en Cote-Nord la plus affectée par l'érosion après celle de la Minganie. Avec un taux de recul annuel moyen de 1,2 m, le littoral de village Moisie est l'endroit le plus sévèrement touché .L'aggravation du phénomène durant la période 1948-1976 dont le taux d'érosion dépassa 5m a même obligé l'évacuation du village en 1973 (CRÉCN, 2006).

Tableau 3.2 Taux d'érosion littorale dans la région de Sept-Îles.

Secteurs	Érosion annuelle moyenne (m)	Type de milieu	Période	Techniques utilisées	Référence
Sept-Îles	1	Microfalaise	1981-1985	Piquets	Dubois et Lessard, 1986
Baie de Sept-Îles	1,1	Falaise	1970-1996	Photographies	Axor et Groupe-conseil la Salle (1986)
Sept-Îles-Moisie	0,4 à 3,2 (Moyenne 1,6)	Microfalaise	1981-1985	Piquet	Dubois et Lessard, 1986
Moisie	2 à 5	Microfalaise	1866-1933	Cartes cadastrales	De Roquefeuil, 1965
Moisie	5 à 6	Microfalaise	1948-1976	Photographies	Dubois et Briard, 1980
Moisie	1,2 à 1,4	Microfalaise	1930-1976	Photographies	Lessard et Dubois, 1984
Moisie (Estuaire)	0,1 à 3,8	Talus	1981-1982	Piquets	Dubois et Lessard, 1986
Sept-Îles- Matamec	1,5 à 1,6	Microfalaise	1930-1976	Photographies	Dubois et Lessard, 1986

Source : Dubois et Bernatchez (2004)

III.3 Choix de ligne de rivage "référence"

L'étude de l'évolution du trait de la côte par l'analyse diachronique de photographies aériennes a été d'abord précédée par le choix d'un repère qui a servi par la suite comme ligne de référence pour l'étude de l'évolution. Ce trait de la côte ou ligne de rivage correspond à l'intersection de la lithosphère avec l'hydrosphère (Paskoff, 1985). Il peut être représenté par la ligne terre-eau, ligne du niveau des hautes eaux (zone sèche/zone humide sur les photographies aériennes), ligne de végétation, etc. (CRÉCN, 2006)

En ce qui concerne les côtes sableuses comme le cas de la zone à l'étude, l'ados de plage s'avère le plus fiable (Robin, 2002). Elle représente la ligne de contact entre la plage et l'arrière-plage, et matérialisée dans la plupart des cas par une rupture de la pente qui est identifiable sur photographies aériennes (Gaillot et Chaverot, 2001). Au niveau de la zone à falaises et microfalaises, le choix de la ligne de référence est délicat. Généralement dans des cas pareils, le haut de la falaise est pris comme trait de la côte et, dans le cas des secteurs affectés par le mouvement en masse, le trait est représenté par la cicatrice d'arrachement (CRÉCN, 2006).

En général, pour ce qui est du tronçon rivière Moisie-Sept-Îles qui fait partie de la Côte-Nord et qui est en grande partie représenté par des terrasses de plages avec des microfalaises plus au moins douces (0,5 à 1 m), Lessard et Dubois (1984b) et Bernatchez (2003a) à la suite de leurs multiples constatations sur terrain, considèrent que la ligne de rivage correspond, selon le cas :

1. À la limite supérieure des falaises et des microfalaises actives (vives) ou dépourvues de végétation.
2. À la limite de végétation permanente dans les secteurs en accumulation dans les zones de marais maritimes.

3. À la limite de végétation dans les zones rocheuses.
4. À la limite supérieure des ouvrages de protection, des quais et des remblais le long des routes pour ce qui est des secteurs artificialisés.

III.4 Méthodologie

Pour permettre la superposition des traits de la côte en prévision d'évaluer leur évolution sur une échelle multiscalaire, l'ensemble des photographies aériennes analogiques sélectionnées pour les quatre lignes de vol ont été digitalisées et géoréférencées dans un système de coordonnées géodésique identique (UTM, zone 19, hémisphère nord, ellipsoïde WGS84) avec le logiciel PCI Geomatica sur la base de cartes numériques multicouches couvrant la zone à l'étude et ayant une échelle de 1 :20 000. Chaque image obtenue dans la digitalisation (scan) est donc composée de trois couches de couleurs naturelles : Bleu, vert, rouge.

Les images scannées ont fait l'objet d'une rectification à l'aide du module OrthoEngine de PCI Geomatica. Une fois les images orthorectifiées, la couche vectorielle représentant les voies d'accès a été superposée sur celles-ci pour voir le degré de décalage.

La mosaïque des images orthorectifiées et la numérisation ont été faites à l'aide du module ArcGIS.

Les étapes de traitement ayant conduit à ce résultat sont définies comme suit :

III.4.1 Application du module OrthoEngine

Après avoir créé un nouveau projet (new project), on a utilisé le modèle de la méthode mathématique « Aerial Photography ».Ce dernier permet d'effectuer la génération du modèle numérique d'altitude (MNA), la collecte des points de calage (GCP), la génération d'ortho photos et la mosaïque de photo aériennes.

La projection utilisée pour le cas de la région de Sept-Îles est le UTM, zone 19, hémisphère nord, ellipsoïde WGS84.

Par la suite, les données relatives aux caractéristiques des caméras utilisées dans les quatre prises de vue ont été traitées par le module « Standard Arial Camera Calibration Information ». Ces données ont été puisées du rapport de calibration qui accompagne chaque ligne de vol. Les rapports de calibration sont disponibles dans la photothèque nationale de l'air pour les photos d'avant 1965, et dans le centre de distribution des produits géomatiques pour celles d'après 1965.

La création du modèle numérique d'altitude a été faite grâce au module « Import & Build DEM » dans PCI OrthoEngine. Créé sous forme d'une image raster en valeurs de gris, le MNA offre une représentation numérique du relief d'un territoire généré à partir de données altimétriques (altitude) et planimétriques (rectangulaires ou géographiques). La disponibilité du MNA est primordiale pour l'exécution des corrections géométriques et radiométriques du terrain sur des images de télédétection. Dans notre cas, ceci nous a servi surtout pour l'extraction de la valeur d'élévation du point de calage (valeur de l'axe Z).

Les points de calage (GCP) ont été collectés juste après le placement des marques fiduciaires sur les quatre coins de chaque photo aérienne. Ils sont utilisés pour positionner et corrélérer les objets cartographiques dans le but de faire la correction géométrique des photos. Ils sont collectés grâce au module « GCP/TP Collection ». L'import des G.C.P à partir de la couche vectorielle (voies d'accès) et du MNA a été fait manuellement et les points de contrôle ont été pris sur des éléments facilement identifiables (intersections de routes) en nombre suffisant et bien répartis sur la surface de l'image à rectifier.

Pour leur collecte, l'image est affichée puis le fichier contenant les coordonnées des points de contrôle (GCP). Il faut aussi spécifier l'emplacement du fichier DEM généré précédemment ainsi que la méthode d'échantillonnage (manuelle ou automatique). Dans la liste affichée, pour chaque point de contrôle sélectionné, on

identifie sa position sur l'image affichée avec un niveau de zoom adéquat. Une fois assurée de la position, il suffit de cliquer sur la souris pour enregistrer les coordonnées des images mesurées. Les points dont les résiduelles (RMS) sont jugées trop grandes ont été remesurés ou éliminés. En moyenne, entre 12 et 16 points de calage ont été collectés pour chaque image.

L'étape qui a suivi la collection des points de contrôle (GCP) était la génération d'ortho photo. Le module «Ortho Generation» a été utilisé. Cette procédure a permis d'éliminer les distorsions et les déformations dues aux reliefs, à la perspective (distance focale) ou à l'optique de la caméra. Elle a permis également l'obtention des photos avec des qualités géométriques analogues à celles d'un plan topographique que l'on peut assembler pour présenter une vue d'ensemble de la zone.

Le clipage des images orthorectifiées en était l'avant-dernière étape de traitement des images dans PCI OrthoEngine. Elle a été effectuée sur Focus, et plus précisément grâce au module « Clipping/Subsetting». Elle a permis d'éliminer les bandes noires sur chaque coté des images en vue d'obtention d'une meilleure mosaïque.

III.4.2 Application du module ArcGIS

Disposant désormais de photos orthorectifiées, clipées et de Modèle numérique d'altitude (MNA), la création de la mosaïque pour chaque ligne de vol a été effectuée grâce au module « mosaic ». Les effets radiométriques et de découpage sont automatiquement ajustés sur chacune des photos par l'ajustement automatique des histogrammes de fréquence des valeurs numériques. Ceci a permis l'obtention de contrastes similaires qu'on ne voit pas à l'œil nu.

Après cette opération, on a procédé à la numérisation des traits de la côte pour chaque mosaïque générée selon les définitions correspondantes. Les limites supérieures des microfalaises visibles légèrement sur les photos ont été utilisées comme ligne de référence dans la plupart des cas. De même, l'ado de la plage a été utilisé comme trait de la côte sur une bonne partie de secteur Moisie. Toutefois, sur

les tronçons qui ont fait l'objet d'un enrochement comme ce fut les cas pour les transects 12, 13 et 24 relatif à la ligne de vol 2001, la limite supérieure de ces ouvrages a été prise comme ligne de référence.

Le procédé de numérisation a été réalisé dans ArcGIS. Cette étape a été précédée par la création d'une couche shapefile sous forme de « polyline » dans ArcCatalog qu'on a ouvert dans ArcMap avec l'image mosaïque. La numérisation a été effectuée par la suite grâce à la barre «Editor Tollbar».

Les quatre couches issues de la numérisation ont été superposées ensemble. La distance entre deux points analogues situés sur deux couches différentes représente l'évolution de la ligne de rivage pour la période correspondante.

Pour chaque mosaïque obtenue, et sur l'ensemble de son linéaire côtier, plusieurs transects (profils) perpendiculaires au littoral et régulièrement espacés (500 m) ont été tracés. La mesure de la distance qui sépare deux traits a permis de calculer les taux d'érosion et éventuellement d'engraissement linéaire entre chaque deux prises de vue pour chaque transect. La reconstitution historique de l'évolution de la position du trait de la côte entre 1950 et chaque date, ainsi que des variations linéaires ont ainsi permis les comparaisons avec les mutations littorales qui leur sont contemporaines.

D'une manière générale, les étapes de traitement des images sont résumées dans la figure 3.1.

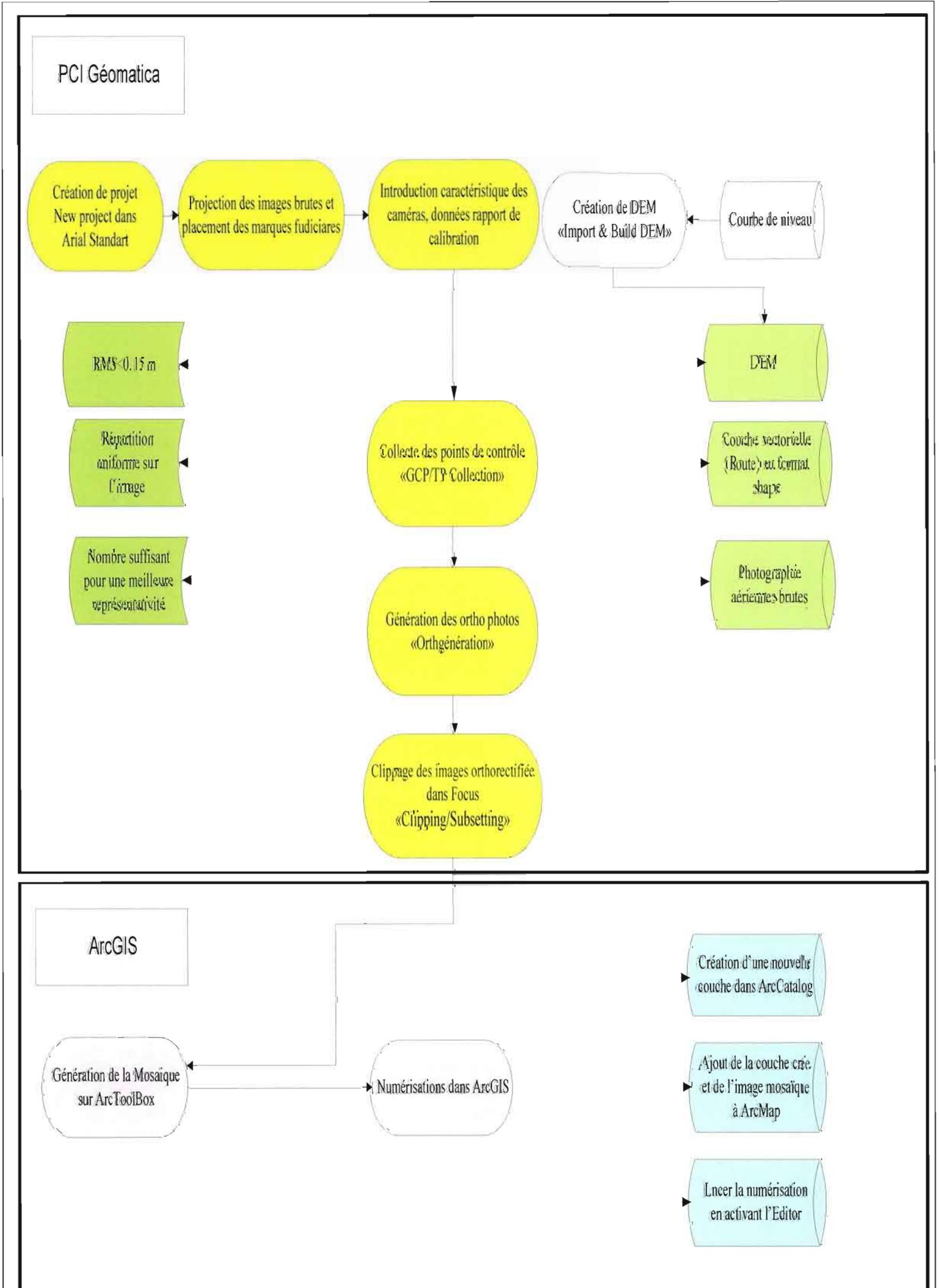


Figure: 3.1
Organigramme de réalisation de projet numérisation des traits de la côte dans
PCI Géomatica et ArcGIS

III.5 Résultats généraux

III.5.1 Secteur Pointe Aux Basques

Ce secteur totalisant six (06) transects qui s'étend de l'ancien port de Sept-Îles jusqu'aux plages Fergusson sur un linéaire d'environ 3km révèle un bilan général négatif (Figure 3.2). Cependant, cette régression n'est pas spatialement homogène comme en témoignent les résultats d'analyse reflétés sur le tableau 3.3.

La comparaison de quatre traits de côte historiques (1950, 1976, 1987, 2001) pour ce secteur nous ont permis de constater qu'à l'exception de transect n° 06 qui affiche des évolutions positives significatives (jusqu'à +30,64m durant la période 1987-2001), l'ensemble des autres profils sont en nette régression (Figure 3.3).

Les taux moyens annuels d'évolution enregistrés respectivement pour les périodes 1976-1950, 1987-1976 et 2001-1987 sont de l'ordre de -0,14, -0,15 et 0,07. Ces valeurs sont pratiquement très proches des moyennes calculées par les experts de la CRÉCN¹⁴ durant la même période pour ce secteur, notamment pour les périodes 1950-1976 et 1976-1987, lesquelles sont de -0,15, -0,16 et 0,17m.

En général, les transects 1 à 5 de secteur Pointe aux Basques ont connu durant la période 1950-2001 un recul allant de 5,27 m à 18,30 m, soit des taux de régression de -0,1 à -0,36 m/an. Seul, le transect 6 qui se trouve juste à la limite des plages Fergusson a positivement évolué de 32,64 m durant la même période.

¹⁴ L'étude diachronique de la CRÉCN a été établie pour des périodes différentes que celles utilisées par notre étude. Toutefois, ses résultats ont été extrapolés selon les mêmes intervalles de temps qu'on a utilisé à des fins purement de comparaison.



Figure 3.2 positionnement des transects dans le secteur Pointe Aux Basques (transects 1 à 6)

**Tableau 3.3 Évolution de trait de la côte dans le secteur Pointe Aux Basques
(1950-2001)**

Périodes	Transects					
	1	2	3	4	5	6
Écart 1976-1950 en m	4,64	11,94	-15,9	1,4	-17,4	-5,48
Évolution annuelle (m)	0,18	0,46	-0,61	0,04	-0,67	-0,21
Écart 1987-1976 en m	-5,81	-16,1	-13,1	-1,7	6,05	7,48
Évolution annuelle (m)	-0,22	-0,62	-0,5	-0,07	0,23	0,29
Écart 2001-1987 en m	-4,1	-12,6	17,33	-18	-2,44	30,64
Évolution annuelle (m)	-0,16	-0,49	0,67	-0,66	-0,09	1,18
Écart 2001-1950 en m	-5,27	-16,8	-11,6	-18,3	-13,8	32,64
Évolution annuelle (m)	-0,10	-0,33	-0,23	-0,36	-0,27	0,64



Figure 3.3 Évolution du trait de la côte au cours de la période 1950-2001. Représentation des transects 3 et 4 dans le secteur Pointe Aux Basques qui sont en érosion

III.5.2 Secteur des plages Fergusson

D'une longueur d'environ 7 km, soit 14 transects (Figure 3.4), le secteur des plages Fergusson qui suit immédiatement celui de la Pointe aux Basques est l'un des endroits les plus affectés par l'érosion côtière dans la zone à l'étude.

L'étude de son évolution durant la période 1950-2001 a permis de mettre en évidence 11 de ses 14 transects au comportement homogène. Il s'agit des profils 8 à 18 qui connaissent d'une manière globale une érosion généralisée depuis pratiquement un demi-siècle, avec des taux de recul annuel variant de - 0,25 à - 1,15 m/an. Le taux le plus important est enregistré pour le transect 18 entre 1976 et 1987 avec -2,16 m/an (Tableau 3.4).

D'une manière générale, on peut conclure qu'au cours de la période 1950-2001, le taux annuel moyen d'évolution calculé pour le secteur des plages Fergusson est de -0,41 m. Ce taux est presque identique à la moyenne calculée par les experts de la CRÉCN (-0,42 m/an).

De même, les taux d'engraissement annuel moyen enregistrés pour les profils 7, 19 et 20 qui évoluent entre 0,19 et 0,71 m/an ne sont pas loin de la moyenne calculée par les experts de la commission des élus de la Côte-Nord pour les mêmes transects et qui varient entre 0,16 et 0,73 m/an (Figure 3.5).

Ces résultats confirment la réalité d'une érosion généralisée qui ressort de l'étude diachronique pour le secteur des plages Fergusson.



Figure 3.4 positionnement des transects dans le secteur des plages Fergusson (transects 7 à 20)

Tableau 3.4 Évolution de trait de la côte dans le secteur Plage Fergusson (Période : 1950-2001)

Périodes	Transects													
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Écart 1976-1950 en m	7,44	-9,78	-41,2	-38,9	-37,2	-38,8	-49,7	-13,2	-7,63	-8,42	-4,66	26,37	-9,15	-8,1
Évolution annuelle (m)	0,29	-0,38	-1,59	-1,50	-1,43	-1,49	-1,91	-0,51	-0,29	-0,32	-0,18	1,01	-0,35	-0,31
Écart 1987-1976 en m	15,4	-3,82	-6,88	0,1	-4,52	-3,01	-3,48	-12,7	-4,88	-17,6	-16,9	-23,7	-5,6	-6,54
Évolution annuelle (m)	1,40	-0,35	-0,63	0,01	-0,41	-0,27	-0,32	-1,16	-0,44	-1,60	-1,53	-2,16	-0,51	-0,59
Écart 2001-1987 en m	13,18	-17	-4,49	22,75	22,41	11,13	-5,29	4,45	-16,2	-24,1	-8,69	-15,2	24,25	25,4
Évolution annuelle (m)	0,94	-1,22	-0,32	1,63	1,60	0,80	-0,38	0,32	-1,15	-1,72	-0,62	-1,09	1,73	1,81
Écart 2001-1950 en m	36,02	-30,6	-52,6	-16	-19,3	-30,7	-58,5	-21,5	-28,7	-50,1	-30,2	-12,6	9,5	10,76
Évolution annuelle (m)	0,71	-0,60	-1,03	-0,31	-0,38	-0,60	-1,15	-0,42	-0,56	-0,98	-0,59	-0,25	0,19	0,21

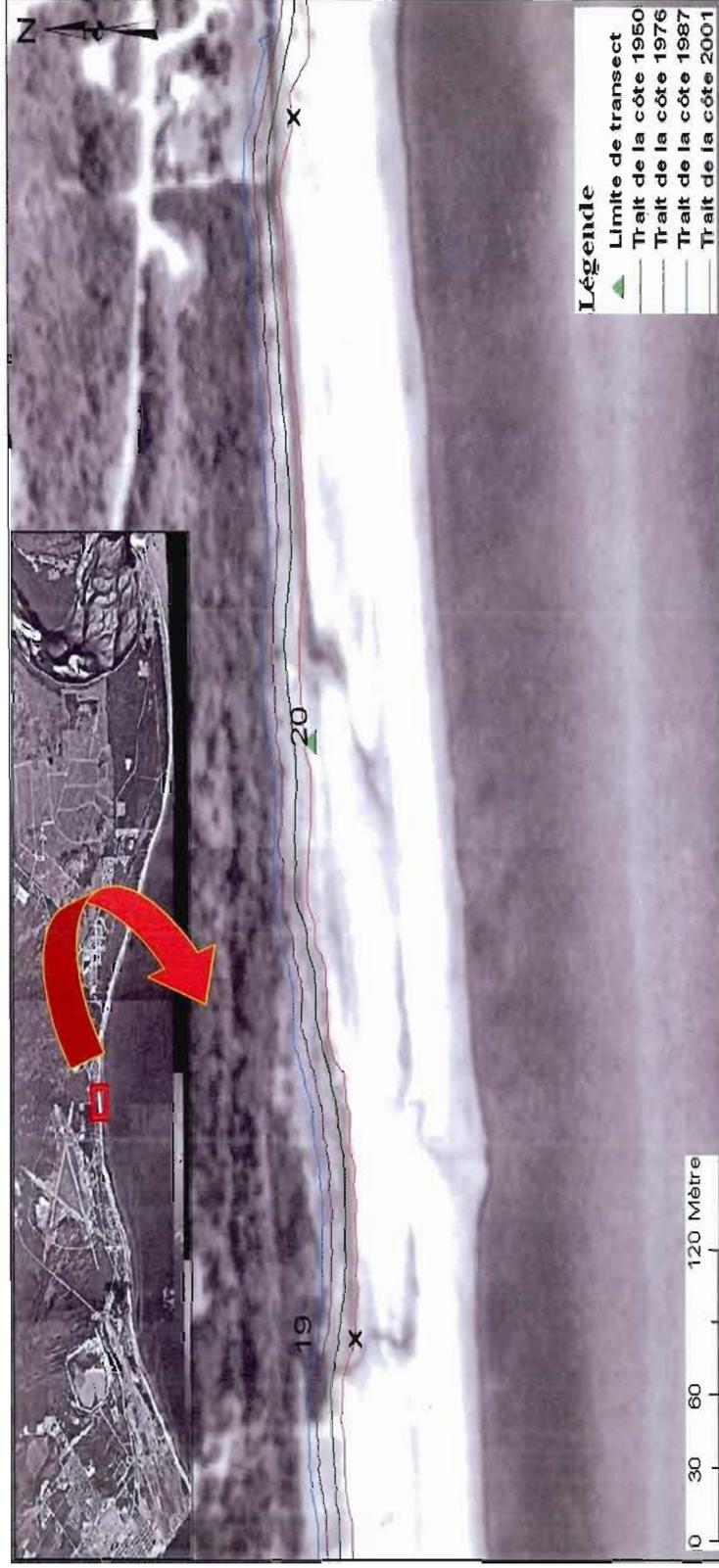


Figure 3.5 Évolution du trait de la côte. Représentation des transects 19 et 20 qui sont en accrétion dans le secteur Plages Fergusson (période 1950-2001)

III.5.3 Secteur Maliotenam

Situé entre les secteurs Pointe aux Basques et les plages Fergusson et représenté en quasi-totalité par des terrasses de plage, le secteur de Maliotenam est le moins touché par le problème de l'érosion.

La superposition des quatre traits de côte numérisés après étude multidate de photographies aériennes 1950, 1976, 1987 et 2001 a permis de dégager des tendances générales et d'estimer l'importance d'engraissement et de stabilité relative sur 11 des 15 profils qui composent ce secteur (Figure 3.6).

Ainsi, sur la période 1950-2001, seuls 4 profils (transects) (2, 27, 32 et 33) ont connu une érosion avec des taux annuels variant de -0,15 à -0,45m. Les autres, ont pratiquement vu leurs traits de côte avancés de 0,16 à 0,62 m/an.

Par ailleurs, les transects 22, 28, 31 et 34 semblent présenter une certaine stabilité depuis pratiquement 1976 (Figure 3.7).

En moyenne, le secteur de Maliotenam a évolué de 0,18 m/an durant la période 1950-1976, puis a reculé d'une manière significative entre 1976 et 1987 (-0,40 m/an) avec un maximum de -3,79 m/an enregistré pour le profil 25. À partir de 1987 et jusqu'en 2001, l'avancement du linéaire côtier de ce secteur a touché 7 de ses 14 transects avec une évolution annuelle de l'ordre de 1,22 m. Par ailleurs, 3 transects (21, 32, 33) ont enregistré des reculs considérables allant de -1,85 à 3,35 m/an.

Il est à noter enfin que les profils 22, 23, 24 et 34 ont connu durant la période 1987-2001 une stabilité relative comme il est illustré sur le tableau 3.5.

D'une manière générale, le taux d'évolution moyen de trait de côte sur le secteur Maliotenam entre 1950 et 2001 est de 0,02. Cette valeur est supérieure à la moyenne calculée par le comité des experts des élus de la Côte-Nord, laquelle est de -0,04m/an, mais elle demeure toutefois insignifiante, ce qui amène à dire que le secteur de Maliotenam est plus ou moins en équilibre sédimentaire.



Figure 3.6 positionnement des transects dans le secteur Maliotenam (transects 21 à 35)

Tableau 3.5 Évolution de trait de la côte dans le secteur Maliotenam (Période : 1950-2001)

Périodes	Transects														
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Écart 1976-1950 en m	-4,73	5,14	17,4	0,87	24,73	-1,27	-4,32	1,79	11,04	-17,8	-18,4	24,68	21,9	9,51	0,17
Évolution annuelle (m)	-0,18	0,20	0,67	0,03	0,95	-0,05	-0,17	0,07	0,42	-0,69	-0,71	0,95	0,84	0,37	0,01
Écart 1987-1976 en m	21,81	-4,71	-0,63	8,70	-41,7	2,55	-27,2	-25,6	8,62	-3,95	9,88	-0,78	-3,76	-6,9	-2,38
Évolution annuelle (m)	1,98	-0,43	-0,06	0,79	-3,79	0,23	-2,47	-2,33	0,78	-0,36	0,90	-0,07	-0,34	-0,63	-0,22
Écart 2001-1987 en m	-33	-0,94	-0,8	-0,8	25,36	12,74	-1,45	23,88	11,82	24,87	9,78	-46,9	-25,6	0,09	11,28
Évolution annuelle (m)	-2,35	-0,07	-0,06	-0,06	1,81	0,91	-0,10	1,71	0,84	1,78	0,70	-3,35	-1,83	0,01	0,81
Écart 2001-1950 en m	-15,9	-0,51	15,97	8,77	8,38	14,02	-32,9	0,07	31,48	3,09	1,22	-23	-7,49	2,7	9,07
Évolution annuelle (m)	-0,31	-0,01	0,31	0,17	0,16	0,27	-0,65	0,00	0,62	0,06	0,02	-0,45	-0,15	0,05	0,18



Figure 3.7 Évolution du trait de la côte au cours de la période 1950-2001. Représentation des transect 34 dans le secteur Malliotenam qui affiche une certaine stabilité (période 1950-2001)

III.5.4 Secteur Moisie

À l'instar de nombreux deltas à travers le monde, celui de Moisie qui totalise en tous 11 transects (Figure 3.8) est aussi affecté par le problème d'érosion depuis pratiquement plus d'un siècle.

Le dépouillement des archives, notamment par la comparaison de cartes cadastrales entre 1866 et 1933 à partir de la compilation cartographique de De Roquefeuil pour la période 1965,1967 (Bernatchez ;2004, Dubois ;1999) fait ressortir un taux d'érosion annuel situé entre 2 et 5 m. tableau 3.2

Par photo-interprétation, Dubois et Briard (1980) estiment un recul maximal de 5 à 6 m des flèches d'embouchure et du littoral dans le village de Moisie entre 1948 et 1976 (CRÉCN, 2006). Cette érosion sévère a d'ailleurs obligé le déplacement de ce village en 1973. Il est à noter qu'en 2000-2001, et à la suite de vagues engendrées par une importante tempête survenue le 29 octobre 2000, un recul de 10,9 m a été enregistré au niveau d'une borne de suivi du secteur de la rue mars à Moisie.

En changeant l'échelle de temps, en comparant directement les résultats de l'étude diachronique pour la période 1950-2001, on observe que deux tronçons sont clairement identifiables (Tableau 3.6) : le premier, en érosion s'étend du transect 37 jusqu'au transect 44 (Figure 3.9). Le second en accrétion est représenté par les profils 36, 45 et 46.

Le taux moyen annuel de l'érosion entre 1950 et 2001 est de -0,16m, alors que le recul le plus important a été enregistré au niveau du profil 41 par 0,54m. Ces résultats concordent avec ceux de l'étude des experts de la commission des élus de la Côte-Nord (2006) dont la moyenne annuelle pour tout le secteur à la même période est de -0,19m.

S'agissant maintenant de l'évolution selon les trois périodes, on constate que le recul a touché pratiquement l'ensemble des transects durant la période 1950-1976 avec un taux annuel moyen de -0,41 m. Entre 1976 et 1987, la tendance s'est renversée et on

assiste beaucoup plus à un avancement du trait de côte vers la mer avec une moyenne de 0,21 m/an. En fin, la période 1987-2001 s'est marquée plutôt différemment des deux précédentes par une certaine stabilité.



Figure 3.8 positionnement des transects dans le secteur Maliotenam (transects 36 à 46)

Tableau 3.6 Évolution de trait de la côte dans le secteur Moisie (Période : 1950-2001)

Périodes	Transects										
	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
Écart 1976-1950 en m	3,2	-19,2	-16,7	-5,46	-6,75	-10,2	-12,1	-17,2	-11,5	-12,6	-8,07
Évolution annuelle (m)	0,12	-0,74	-0,64	-0,21	-0,26	-0,39	-0,46	-0,66	-0,44	-0,49	-0,31
Écart 1987-1976 en m	1,77	7,86	-3,7	-5,24	8,76	-8,39	0,15	5,6	1,63	8,25	8,22
Évolution annuelle (m)	0,16	0,71	-0,34	-0,48	0,80	-0,76	0,01	0,51	0,15	0,75	0,75
Écart 2001-1987 en m	3,64	5,14	4,22	-1,83	-11,6	-8,71	-9,55	-15,1	2,7	17,47	15,05
Évolution annuelle (m)	0,26	0,37	0,30	-0,13	-0,83	-0,62	-0,68	-1,08	0,19	1,25	1,08
Écart 2001-1950 en m	8,61	-6,23	-16,2	-12,5	-9,55	-27,3	-21,5	-26,7	-7,21	13,11	15,2
Évolution annuelle (m)	0,17	-0,12	-0,32	-0,25	-0,19	-0,54	-0,42	-0,52	-0,14	0,26	0,30



Figure 3.9 Évolution du trait de la côte au cours de la période 1950-2001. Représentation des transect 38 dans le secteur Moisie qui est en érosion.

III.6 Les processus érosifs et l'érosion côtière

Il est maintenant clair que l'érosion littorale résulte dans la majorité des cas de l'impact de plusieurs facteurs, certains naturels, d'autres induits directement par les activités humaines. Toutefois, il est vraiment très rare qu'un facteur isolé en soit l'unique responsable. Cela s'avère également vrai pour le glacié, le niveau marin les réservoirs et les retenues d'eau, les activités anthropiques, etc....

L'analyse des résultats obtenus par l'étude diachronique des photographies aériennes pour l'ensemble des secteurs laisse apparaître que d'une manière générale la position de trait de la côte s'est déplacée légèrement vers l'intérieur des terres depuis 1950. Le taux de recul ainsi obtenu varie entre -0,10 et -1,5 m/an durant la période 1950-2001. Des accrétions, bien que peu abondantes, ont été également enregistrées pour la même période et varient entre 0,05 et 0,64 m/an. Cependant, les périodes 1976-1987 et 1987-2001 se démarquent nettement de la première (1950-1976) par des reculs localisés très significatifs, notamment pour les secteurs Plages Fergusson et Maliotenam. Selon l'étude de la CRÉCN publiée en 2006, ce recul s'est beaucoup aggravé depuis 2001, particulièrement pour le secteur situé entre les plages Fergusson et Maliotenam où on assiste ces dernières années à une érosion presque généralisée.

En se basant sur les résultats du consortium OURANOS (2008) relatifs aux glaces dans la région Sept-Îles qui stipulent que la période d'inhibition des glaces dans cette zone est passée de 80 jours par année (1960-1995) à seulement 55 jours par année (1995 et 2007), on constate une étroite relation entre le recul du secteur des plages de Sept-Îles et les nouvelles conditions de glaces avancées. Ainsi, et à travers les résultats reflétés dans les tableaux 3.4 et 3.5, on remarque que les reculs dans le secteur des plages (Fergusson et Maliotenam) sont devenus plus importants et plus fréquents à partir de 1976. Ceci a été confirmé par l'étude de la CRÉCN de 2006 qui avancement des reculs spectaculaires (jusqu'à 10 mètres) dans les plages du secteur

Fergusson pour la période 2001-2006. La disparition probable des glaces dans tout le golfe de Saint-Laurent prévue pour la fin du siècle en cours sera certainement fatale non seulement pour le littoral de Sept-Îles, mais pratiquement pour tous ceux de la Côte-Nord.

En outre l'effet du glaciol, l'intensité des vagues et la hausse du niveau marin dans le golfe de Saint-Laurent sont des processus érosifs très importants qui ont constamment participé au façonnage du paysage côtier de Sept-Îles. Cependant, et faute de disposer de données suffisantes relatives aux hauteurs de vagues et au niveau marin dans le golfe du Saint-Laurent (données disponibles à partir de 1972 pour le niveau marin et 1991 concernant la hauteur des vagues), il s'avère difficile de corréler l'évolution du trait de la côte avec ces deux processus pour la région de Sept-Îles. Néanmoins, en se référant aux études de Savard (1998) et Dubois et Lessard (1986) qui soulignent que le nombre de tempêtes s'est quadruplé depuis 1990, et aux données relatives aux hauteurs significatives des vagues recueillies à partir de la station Mont Saint-Louis près de Sept-Îles, on peut avancer que les vagues, notamment celle de tempêtes ($H_s > 3\text{m}$) ont joué un rôle primordial dans l'amplification de l'érosion côtière dans la région de Sept-Îles depuis 1987.

Ceci peut s'avérer également vrai pour le niveau marin qui a vu sa moyenne passée de 1,8 mm par an pour la période 1961-2003 à 3,8 mm par an pour la période 1993-2003 (tableau 2.5)

Le lien direct entre les barrages hydroélectriques, très nombreux sur la Côte-Nord, et l'amplification de l'érosion côtière, devenue très inquiétante pour la municipalité de Sept-Îles, n'est pas à écarter. Ainsi, la mise à l'eau du réservoir Denis-Perron d'une superficie de 253 km² de la centrale hydroélectrique SM-3 sur la rivière Sainte-Marguerite à partir de 1998, est probablement en partie responsable de l'érosion du littoral Sept-Îlien. Pour rappel, le débit volumique de cette rivière mesuré en aval de la centrale SM-3 a diminué de 76% durant la période 1998-2001 (période de

remplissage), ce qui a certainement influencé le transit de sédiments vers le littoral. Reste juste à évaluer le degré d'envasement de ce réservoir, la nature des sédiments retenus par cette installation et de confirmer le sens de la dérive littorale dans cette région pour affirmer ou infirmer cette hypothèse.

D'une manière générale, et d'après les résultats de l'étude de la CRÉCN (2006) effectuée sur l'ensemble de la région de Sept-Îles, on peut constater que le recul moyen ($>-2,7$ m/an) pour le secteur des plages de Sept-Îles durant la période 2001-2006 coïncide avec la mise en service de la centrale hydroélectrique SM-3 sur la rivière Sainte-Marguerite, alors que le recul moyen n'est seulement que de $-0,68$ m/an pour la période 1950-1976. La mise en service des centrales hydroélectriques Romaine-1, 2, 3 et 4 (prévue entre 2014 et 2020) sur la rivière Romaine à l'est de la rivière Moisie, tous avec réservoirs, va certainement affecter le littoral et augmenter le risque de l'érosion dans la région.

PARTIE IV

**LUTTE CONTRE L'ÉROSION CÔTIÈRE
À SEPT-ÎLES**

IV.1 Cadre législatif et réglementaire

La problématique des risques naturels majeurs et plus particulièrement celle liée à l'érosion des côtes a toujours constitué une des premières priorités pour le gouvernement du Québec. Pour mieux cerner les enjeux liés à ce phénomène dans la région de Sept-Îles, il est nécessaire d'examiner d'une manière succincte les mesures et les décisions prises à différents paliers gouvernementaux (provincial, régional, municipal) depuis le début du schéma d'aménagement de la municipalité régionale du Comté (M.R.C) de Sept-Rivières. Il est également important de passer en revue quelques actions entreprises pour contrer l'érosion littorale dans cette région avant et après l'élaboration de ces fascicules de gestion.

En effet, et à l'instar de la plupart des MRC de la Côte-Nord, celle de Sept-Rivières a connu jusqu'à la fin des années 1970 diverses actions de stabilisation de son littoral. Il s'agissait surtout d'actions ponctuelles, souvent mal planifiées et réalisées pour faire face à des situations d'urgence. « [...] La construction d'un empierrement à Sept-Îles pour protéger les abords de quai, en remplacement d'un mur en bois construit en 1947, remplacé par de la pierre en 1955 est définitivement détruit par une tempête le 17 décembre 1960[...] » (CRÉCN, 2006) en est un meilleur exemple de ses actions faites au gré des besoins.

IV.1.1 Planification des interventions à l'échelle provinciale

IV.1.1.1 L'apport des schémas d'aménagement dans la lutte antiérosive sur la Côte-Nord

Au début des années 1980, l'élaboration et la mise en place des schémas d'aménagement et de divers règlements et législations annoncent le début d'une ère nouvelle pour la prise en compte réelle de la gestion littorale (C.R.É.C.N, 2006).

Dans son premier schéma d'aménagement entré en vigueur en date du 23 juin 1988, la M.R.C de Sept-Rivières a décrit les zones sujettes à l'érosion littorale, mais sans que ces dernières ne soient cartographiées. Le document sur les objets de la révision de schéma d'aménagement de 1988 (D.O.R) adopté en date du 11 juin 1996 attache une importance particulière à l'érosion littorale. On y trouve une section tout entière portant l'identification des zones sensibles sur le littoral et la préservation contre l'érosion. Un bref portrait de la situation a été également dressé. Parmi les principaux objectifs ciblés, on cite :

- Inventaire des zones sensibles à l'érosion et à d'autres aléas naturels.
- Prévention contre l'érosion accrue
- Application des mesures de protection adéquates.

En 2002, le projet de schéma d'aménagement et de développement révisé (P.S.A.D.R) aborde minutieusement la problématique de plusieurs contraintes naturelles comme les sections inondables, les zones sujettes aux glissements de terrain, mais aussi celle liée à l'érosion littorale dans le golfe du Saint-Laurent. À ce sujet, la M.R.C de Sept-Rivières a consacré une section spécifique au recul des côtes qui « [...] est toujours une préoccupation majeure pour les municipalités et la population riveraine [...] » (C.R.É.C.N, 2006).

L'avis gouvernemental¹⁵ sur le P.S.A.D.R précise à la M.R.C de Sept-Rivières :

- Qu'elle devra intégrer la cartographie des zones d'érosion à son schéma révisé dès qu'elle sera transmise par le Ministère de la Sécurité publique (M.S.P).
- Qu'elle devra prévoir également les mesures nécessaires pour mieux protéger les populations et leurs biens (notons qu'il s'agit d'une première pour le

¹⁵ La «Loi sur la Sécurité civile» adoptée le 20 décembre 2001 par le gouvernement du Québec oblige les MRC à identifier les zones à risque, à préciser leurs degrés de sensibilité et de vulnérabilité et à définir les modalités et les objectifs de protection à l'égard de ces risques. Les MRC ont même été autorisées en vertu de l'article 7 de cette loi de restreindre ou d'interdire toute action dans les endroits qu'ils jugent à risque et peuvent présenter des dangers.

gouvernement du Québec en termes d'attentes en matière de sécurité des personnes et des biens associée aux contraintes dues à l'érosion littorale).

IV.1.1.2 De Groupes interministériels à l'entente spécifique de la Côte-Nord, tous unis contre l'érosion littorale

La fin des années 1980 s'est caractérisée par l'augmentation du nombre de sinistres d'une agressivité rare liés à l'érosion dans pratiquement toute la Côte-Nord. Ceci a obligé le Bureau de la protection civile du Québec en 1988 à mettre en place un comité de protection civile provincial qui l'aidera à l'élaboration de la politique gouvernementale de prévention des sinistres et de mesures à prendre en cas de catastrophes naturelles.

Dans la même année, le Bureau de la protection civile du Québec en collaboration avec cinq ministères : le MTQ, le MSP, le MRN, le MAM et le M ENV constituent un groupe de travail interministériel pour étudier la problématique de l'érosion côtière en Cote-Nord. Son mandat est de dresser un état de situation, mais aussi d'analyser et recommander les hypothèses et les solutions à ce fléau.

Les sommets socio-économiques organisés et privilégiés par le comité de la protection civile provincial pour toute prise de décision concernant la protection des littoraux ont constitué à partir de l'année 1988 un événement important dans la prise en charge des espaces côtiers. D'ailleurs, c'est lors du sommet socioéconomique de la Côte-Nord de 1988 que le gouvernement du Québec s'est engagé à investir 6 000 000 millions de dollars pour lutter contre l'érosion dans certaines municipalités de la Côte-Nord.

Cependant, ce groupe de travail interministériel n'a pas duré longtemps. Sa dissolution a été prononcée juste après la signature d'une entente-cadre régionale de développement entre le gouvernement du Québec et les élus de la Côte-Nord en date

du 5 mai 1989, dont le plan d'action identique à celui du groupe dissous s'étale sur 6 ans (1989-1995).

En octobre 1991, et en marge de la réunion bisannuelle de suivi de l'Entente-cadre de la Côte-Nord qui s'est tenue à Sept-Îles, certaines M.R.C réitèrent leur demande d'instauration d'un programme gouvernemental pour résoudre le problème d'érosion. Elles demandent aussi l'exécution des travaux d'urgence de stabilisation dans les municipalités touchées, mais également dans d'autres endroits où il y a des problèmes semblables (Gagné, 1991)

En 1995, un sous-comité de la Conférence administrative régionale de la Côte-Nord travaillant sur l'érosion des berges a été mis en place par le Secrétariat au développement des régions (S.D.R). Parmi les mesures proposées par ce comité à la suite de l'analyse de la situation, on cite :

- L'implication financière des municipalités dans la lutte contre l'érosion.
- La signature d'une entente entre les municipalités et les M.R.C d'une part, et le ministère des Affaires municipales et des Régions, d'autre part, afin d'éviter ou de limiter la construction dans les zones à risque.
- Le transfert des infrastructures de protection réalisées en situation d'urgence aux propriétaires riverains qui s'en chargeront de leur maintenance et entretien.

Citées dans le rapport de la Conférence régionale des élus de la Côte-Nord de 2006, certaines actions ou études environnementales en vue de protection du littoral ont été réalisées également durant la période 1995-1999 en Côte-Nord comme :

- Déplacement de la route 138 à Rivière Saint-Jean (1996-1997 sur 4 km et à Forestville (1998-1999).
- Réalisation d'une étude pour évaluer les risques d'érosion et de mouvements de masse dans l'estuaire la rivière Sainte-Marguerite et sur le littoral par l'ancienne municipalité de Gallix (actuellement annexée à Sept-Îles). Des zones de contraintes ont été désignées à Gallix à la suite de cette étude qui conclut que la

sensibilité du littoral à l'érosion varie de moyenne à haute, et que toutes les berges de l'estuaire sont pratiquement sensibles aux mouvements de masse.

L'entente spécifique sur l'érosion des berges en Côte-Nord a vu le jour en septembre 1999. Elle a été conclue entre le Conseil régional de développement de la Côte-Nord et les six ministères suivants :

- Le ministère des Affaires municipales et de la Métropole (M.AM).
- Le ministère des Régions
- Le ministère de la Sécurité publique
- Le ministère de l'Environnement
- Le ministère des Transports
- Le ministère des Ressources naturelles.

Cette entente a été conclue dans le but de répondre aux priorités régionales, de permettre de lutter efficacement contre le problème de l'érosion, d'assurer la coordination des interventions gouvernementales à l'égard de l'érosion sur la Côte-Nord, et enfin, de mettre en place et de définir les mandats des structures désignées pour gérer cette entente. Il s'agit d'un comité régional de coordination chargé de l'application de l'entente et d'un autre comité d'experts pour alimenter le précédent en avis techniques.

Quelques mandats du comité régional de coordination tels qu'illustrés dans le rapport de la Conférence régionale des élus de la Côte-Nord de 2006 sont résumés comme suit :

- Adopter un plan d'action.
- Mettre à la disposition du comité des experts, les ressources humaines et techniques dont il disposait.
- Recevoir les recommandations du comité des experts et décider des projets et études à financer.

- Adopter les projections financières.
- Aviser les cas d'extrême urgence et les référer aux autorités compétentes.

Par ailleurs, les mandats du comité d'experts se résument essentiellement à :

- définir la notion d'urgence.
- Inventorier et mettre en place les situations urgentes et en évaluer les coûts.
- Proposer une stratégie d'intervention.
- Coordonner l'équipe de chercheurs et de consultants.

Il est à noter qu'uniquement entre janvier 2000 et avril 2004, les membres du comité d'experts se sont rencontrés à 31 reprises.

IV.1.1.3 Actions entreprises à partir de 2006 à Sept-Îles en marge de l'Entente spécifique

En juin 2006, le gouvernement du Québec par le biais de son ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs annonce un investissement de 55 millions de dollars pour agir en mode préventif face aux principaux risques naturels. Pour ce faire, cinq ministères ont uni leurs efforts pour élaborer un cadre de prévention novateur, soit le ministère de la Sécurité publique, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, le ministère des Affaires municipales et des Régions, le ministère du Transport et le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (Gouvernement du Québec, 2006).

S'inscrivant dans une perspective de développement durable, ce cadre de prévention qui a écarté catégoriquement l'option statu quo, marque un tournant décisif dans la gestion de manifestations naturelles telles que les mouvements du sol, les inondations et l'érosion littorale.

Il préconise une approche en trois étapes :

1. D'établir un portrait le plus juste possible des risques encourus pour les secteurs bâtis, les équipements et les infrastructures essentielles pour les collectivités.
2. De mieux planifier l'utilisation des sols en fonction des risques, en examinant l'ensemble de solutions envisageables sur la base du coût/avantage afin d'établir un meilleur choix d'intervention.
3. De s'attacher à mettre en œuvre la meilleure solution applicable pour chaque milieu.

Le montage financier de cet investissement est présenté dans le tableau n° 4.1

Comme suite à cette décision, une étude technique d'opportunité a été entamée en automne 2006 dans le district de La rive à Sept-Îles. Réalisée dans le cadre du protocole d'entente conclu avec le ministère de la Sécurité publique et la firme Ropars inc. (Gestionnaire du projet) aux coûts approximatifs de 200 000 \$, cette étude visait surtout l'analyse de solution pour la prévention et l'atténuation du risque de l'érosion littorale. Ses résultats ont été dévoilés aux membres du conseil de la ville de Sept-Îles en mai 2007 (Ville de Sept-Îles, 2007). Cette étude a mis en lumière une problématique liée à la présence d'enrochements qui stipule que ces derniers contribuent à la disparition progressive des plages sur lesquelles ils sont construits et empêchent dans plusieurs cas le retour à l'équilibre initial.

L'état de situation présenté a permis également d'envisager différents scénarios qui ont été étayés dans le cadre coût/avantage, dont la reconstitution de plages par ensablement massif, la reconstruction de l'enrochement existant sur la plage Fergusson et sa prolongation vers l'ouest, la recharge en sable avec l'implantation d'une batterie d'épis et la délocalisation des résidents le cas échéant.

Les investissements envisagés ont été estimés sommairement entre 8 et 20 M\$ selon le scénario étudié, et ce, uniquement pour les secteurs des plages Monaghan et Fergusson à Sept-Îles.

Tableau 4.1 Implication financière du gouvernement du Québec dans le cadre de prévention des risques naturels
Période 2006-2011

Désignation	Montant par année en (M\$)						Total
	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011		
<u>Érosion</u>							
- Analyse des risques	0,9	2,2	1	1	0,5	5,6	
- Choix et mise en œuvre des solutions	0,038	3	7	6	5	21	
Montant Total (M\$)	0,938	5,2	8	7	5,5	26,6	
<u>Glissement de terrain</u>							
- Analyse des risques	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	14	
- Choix et mise en œuvre des solutions	0	1,5	2	2	2	7,5	
Montant total (M\$)	2,8	4,3	4,8	4,8	4,8	21,5	
<u>Inondations</u>							
- Analyse des risques	0,2	0,2	0,7	0,2	0,7	2	
- Choix et mise en œuvre des solutions	0	1	0,5	1,5	1,5	4,5	
Montant total (M\$)	0,2	1,2	1,2	1,7	2,2	6,5	

Source : Gouvernement du Québec. Communiqué c2479: Prévention des risques naturels majeurs, novembre 2006.

IV.2 Mesure pratique de lutte contre l'érosion littorale

De nos jours, diverses méthodes sont utilisées pour lutter contre ce fléau et contrôler ses effets dévastateurs. Cependant, la défense lourde demeure de loin la mesure de lutte la plus utilisée par les ingénieurs pour contrer le phénomène. Elle consiste à mettre en place des ouvrages visant à atténuer les effets des deux principaux agents de l'érosion côtière, en l'occurrence les vagues et les courants littoraux.

Une autre approche alternative, plus récente dans ses applications, consiste plutôt à porter remède à la première cause de l'érosion des plages, leur déficit sédimentaire, en le corrigeant par des apports artificiels en sable et en galets. On parle alors de « méthode douce » puisque l'on compose avec les phénomènes dynamiques naturellement en jeu sur les côtes au lieu de s'opposer à eux. Très recommandée par les scientifiques et les environnementalistes, cette dernière connaît aujourd'hui une faveur grandissante.

La stricte défense du trait de côte et des habitations de première ligne conduit à la construction des murs, remblais, enrochement, épis a, pour reprendre l'image de V. Hugo, « toutes ces maçonneries dont on caparaçonne la mer » (Victor-Hugo, 1936).

Au Québec, le littoral de la Côte-Nord fortement exposé aux aléas de l'érosion côtière a conduit différents intervenants à enrocher une partie de ces côtes pour tenter d'enrayer ce phénomène. Plus de 40 km de côtes dans cette région vulnérable ont ainsi fait l'objet de stabilisation (C.R.É.C.N, 2004). Cependant, la mise en place d'enrochement de protection sur une partie de la côte a entraîné l'érosion du tronçon adjacent situé à l'ouest de l'ouvrage (effet de boule) et un rétrécissement significatif de la surface de la plage devant les enrochements. Il en a découlé un cercle vicieux

d'interventions qui provoquent à leur tour le besoin d'autres actions protectrices, cycle sans fin et relativement onéreux.

Au cours des dernières années notamment, l'érosion des berges a coûté quelque 40 millions de dollars au gouvernement pour le déplacement de routes endommagées ou menacées et la construction d'ouvrages de protection.

Ces ouvrages mis en place pour faire face à des situations d'urgence n'ont pas donné les résultats escomptés. Ils ont même créé dans plusieurs situations une délocalisation du problème dans les secteurs adjacents, exigeant ainsi une fois de plus de nouvelles mesures de protection d'urgence (Figure 4.2).

En outre leurs effets pervers qui se traduisent généralement par l'accélération de l'érosion des secteurs enrochés, ces ouvrages affectent sérieusement l'équilibre fragile de la biodiversité floristique et faunistique et dégradent davantage le paysage côtier.

« L'homme essaye d'enrayer l'attaque des rivages là où les vagues menacent directement les aménagements urbains, portuaires, industriels, agricoles ou touristiques. Mais le combat est inégal, et souvent, les résultats sont décevants » (Paskoff, 1985).

Parmi les types d'aménagement utilisés dans la région de Sept-Îles, on cite :

IV.2.1 Les cordons d'enrochement

Ce type d'ouvrage a été mis en place dans le secteur communément connu «Les plages de Sept-Îles), en particulier entre la plage de Fergusson et celle de Monaghan entre la période allant de 1984 à 2007.

Posés parallèlement à la ligne de rivage selon les normes exigées en matière de forme, de type et de taille de roches utilisées, et inclinés pour diminuer la réflexion de la houle sur l'obstacle, cette catégorie d'ouvrage a été choisie pour les avantages qu'elle présente par rapport aux murs de protection et que se résument en ceci:

- Ils présentent plus de perméabilité et absorbent plus d'énergie dégagée par l'action des vagues et houles, donc plus résistants.
- Plus faciles à construire et à réparer le cas échéant grâce aux techniques nouvelles d'ingénierie et aux engins modernes de terrassement.
- Ils s'intègrent mieux dans le paysage si le type de roche qui les constitue a une origine locale.

Cependant, comme tout ouvrage de défense contre l'érosion littorale, les cordons d'enrochement construits dans les plages de Sept-Îles n'ont pas réglé le problème de recul des côtes, et les arguments ne manquent pas pour dresser un réquisitoire très sévère contre ces moyens de lutte. Sans même parler de dénaturalisation de l'environnement qu'ils introduisent, ils :

- Enlaidissent l'environnement en artificialisant la côte.
- Gênent l'accès aux plages dont ils réduisent les surfaces par leur présence même (Figure 4.4).
- N'arrêtent pas le démaigrissement et le recul des estrans, car ils n'apportent pas les remèdes à la cause de ces phénomènes (Figure 4.1).
- Plus graves que cela encore, les cordons d'enrochement accélèrent le phénomène de l'érosion littorale. En effet, ce type d'ouvrage de protection, en s'entreposant entre l'estran et les dunes maritimes qui leur sont associées, empêche les échanges sédimentaires réciproques indispensables pour tout équilibre du rivage sableux.
- Ils modifient les processus hydrodynamiques littoraux en renforçant l'agitation de la mer qui brise sur eux ainsi que la vitesse des courants résultants de déferlement, d'où un enlèvement accru de sables et galets. Ils interrompent également les échanges de sédiments entre la plage et la dune ou l'avant plage, ce qui se traduit souvent par un rétrécissement de la plage sur laquelle ils sont construits (Figure 4.3).



Figure 4.1 : Enrochement de protection de berge – Plages Fergusson et Routhier à Sept-Îles (vers l’est) en mai 2007

Source : Source : Érosion des berges. Étude technique et d’opportunité. Ville de Sept-Îles. Juin 2005

La figure 4.1, prise en mai 2007 montre certains dommages en pied d’enrochement avec déplacement vers le large de pierres de carapace. Elle montre également l’érosion du banc de sable qui se trouve à quelques dizaines de mètres de l’enrochement.



Figure 4.2 : Érosion de berge immédiatement à l'ouest de l'encochement temporaire de 2005

Source : Érosion des berges. Étude technique et d'opportunité. Ville de Sept-Îles. Juin 2007

En conclusion, si les cordons d'encochement peuvent localement ralentir l'érosion des plages, ils l'aggravent ailleurs, car ils ne s'attaquent pas réellement à la racine du mal qui est le déficit sédimentaire côtier.

En effet, à l'état naturel, une plage est perméable et son plan est généralement légèrement incliné, ce qui contribue en grande partie à la dissipation des vagues et à l'absorption d'une bonne partie de leurs énergies. Or, la présence d'ouvrages de protection comme les cordons d'encochement engendre la réflexion des vagues incidentes ce qui accroît d'une manière significative la turbulence des eaux sur les rivages. Ainsi, une grande quantité de sables sera dispersée pour être déposée sur l'avant plage. Le phénomène prend de l'ampleur notamment lors des grandes tempêtes. Avec le temps, le cordon sera affouillé à sa base et il doit être renforcé. À terme, la plage est condamnée à disparaître.



Figure 4.3 Rétrécissement de la plage Fergusson devant les enrochements (vers l'ouest)

Source : Érosion des berges. Étude technique et d'opportunité. Ville de Sept-Îles. Juin 2007

L'avancée de la plage disparaît à la jonction entre les travaux de protection de berge de 2004 et de 2005 qui se trouve à former un « cap » s'avancant dans la baie de la Boule et qui semble jouer le rôle d'un épi de rétention du sable en transit devant les enrochements.

Figure 4.4 montrant l'enlaidissement de la côte et les difficultés d'accès à la plage à la suite de mise en place de cordons d'enrochement.

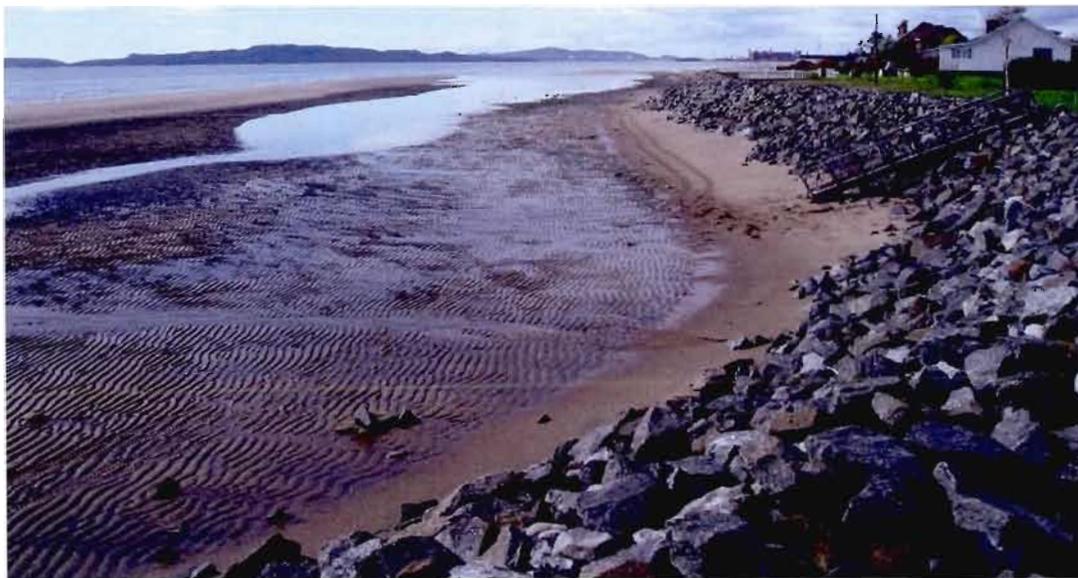


Figure 4.4 : Enrochement temporaire de protection de talus – Plage Fergusson à Sept-Îles (vers l'ouest)

Source : Érosion des berges. Étude technique et d'opportunité. Ville de Sept-Îles. Juin 2007

IV.3 Recommendations

Les principales causes de la fragilité des côtes ainsi que les différentes mesures de lutte contre l'érosion littorale sur la Côte-Nord ont été abordées. Les limites physiques maintenant mieux connues des ouvrages de défense contre les assauts de la mer et la meilleure connaissance des milieux et de leurs interactions conduisent à faire évoluer les méthodes de gestion du trait de la côte dans une perspective de développement durable et de planification globale.

C'est souvent en voulant lutter contre l'érosion marine que l'on a amplifié les conséquences. Ainsi, les aménagements qui ne tiennent pas compte des échanges sédimentaires entre les fonds marins, la plage, son avant-plage et l'avant-dune aggravent davantage le phénomène de l'érosion (Clus-Auby. C, 2000).

Partout ailleurs dans le monde, les mesures de protection contre l'érosion côtière et le mode de gestion de ce fléau prises dans le passé ont été également définies dans une perspective locale parfois très restreinte. Ils ont occulté l'influence des agents de forçage non locaux et négligé les processus de fonctionnement de la cellule sédimentaire¹⁶ de l'espace côtier.

En raison de l'augmentation des risques de l'érosion côtière dans les années à venir suite aux causes précitées, les MRC de la Côte-Nord ont besoin plus que jamais de comprendre les processus littoraux, de s'y adapter et de bien gérer la mise en valeur du milieu côtier. Afin de rendre une meilleure conception des structures et une gestion plus responsable de la zone côtière, il est non seulement nécessaire de comprendre les processus géomorphologiques et océanographiques dont elle est le théâtre, mais aussi de bien analyser les impacts induits par les différentes activités humaines, notamment celles pratiquées en amont sur les bassins versants limitrophes. Une meilleure connaissance du cadre physique d'un milieu côtier et de sa réaction

¹⁶ La cellule sédimentaire est définie comme étant une portion de trait de côte et des zones côtières associées à l'intérieur desquelles le mouvement des sédiments est en grande partie confiné.

aux agents naturels permettra sans doute d'éviter des erreurs coûteuses dans la planification et le choix de l'emplacement des structures et des installations, et réduira considérablement sa vulnérabilité à l'érosion.

Dans ce contexte, certaines recommandations peuvent être suggérées :

IV.3.1 Lutter contre l'érosion littorale dans une perspective globale

À ce niveau, il est important d'intégrer la lutte contre l'érosion côtière dans un cadre de vision stratégique et dans une perspective globale de l'aménagement du territoire, qui tiennent compte à la fois de la préservation de l'intégrité de l'espace côtier, du fonctionnement de son système hydrosédimentaire et de l'interdépendance entre le milieu naturel et l'activité humaine. Pour cela, nous ne devrions pas hésiter à remettre en question certaines techniques d'utilisation des sols appliquées directement sur le littoral (habitations, industries, etc..), où dans des zones plus loin de la côte, mais qui peuvent avoir un lien direct avec sa cellule sédimentaire. Le détournement des cours d'eau et la régulation de leur régime hydrique à l'intérieur des terres par des réservoirs d'envergure comme ce fut le cas pour la Côte-Nord.

Une gestion avisée des ressources hydriques des fleuves et cours d'eau de la Côte-Nord, pourvoyeurs en sédiments des espaces côtiers, doit aller au-delà de la simple exploitation et suppose pour commencer une évaluation systématique de la qualité des projets du point de vue environnemental, avec une surveillance en temps réel des côtes, et un suivi strict de leur comportement après la mise en œuvre du projet et surtout après la mise en service des infrastructures hydroélectriques. De même, le mode de confection des digues des réservoirs doit être perfectionné afin d'assurer un passage régulier des sédiments vers l'aval, éviter l'envasement des réservoirs en temps records et maintenir l'équilibre sédimentaire sur les littoraux.

IV.3.2 Anticiper l'érosion littorale et planifier les solutions pour y remédier à long terme

Au point où on est arrivé, il faut cependant mettre en lumière que les zones littorales soumises aux dangers d'érosion méritent un traitement particulier. À ce sujet, l'aménagement du territoire et le zonage sont un moyen efficace pour les MRC et les collectivités locales afin d'éviter le développement des zones à risques. Il est très important de déclarer «non constructible» tout espace côtier menacé par l'érosion littorale, et d'interdire tout aménagement dans une bande «tampon» située en arrière de la plage, dont, à elles seules, l'ampleur, la fréquence et la vitesse du recul détermineront la largeur. L'intégration de ces risques dans les schémas d'aménagement et les fascicules de gestion relatifs à l'urbanisme est à notre avis primordiale aux municipalités, non seulement pour prévenir les risques d'érosion, mais aussi pour réduire la facture liée à la protection et à l'indemnisation.

Les MRC devraient également planifier l'utilisation des sols à long terme plutôt que d'agir au coup par coup à la suite d'urgences proclamées. De même, les schémas d'aménagement devraient comprendre une évaluation approfondie des enjeux et des coûts et conséquences des différentes actions envisageables et qui se rapportent généralement à la protection, l'abstention d'agir (statu quo) ou à l'abandon de la zone.

IV.3.3 Gestion adaptative de l'érosion littorale (en fonction de son évolution et des connaissances acquises)

La compréhension du phénomène de l'érosion côtière a considérablement évolué au cours de ces dernières années. De nos jours, il est de plus en plus admis que les zones littorales sont par nature dynamiques et qui sont en permanence modifiées par la nature et sa semence jadis préférée, l'homme. Aussi, les méthodes «brutales» de protection des littoraux contre l'érosion sont en majorité remises en cause au profit de méthodes plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement.

Il convient donc de privilégier les procédures douces comme l'alimentation des plages érodées en sables et galets, la reconstitution des cordons dunaires et leur végétalisation et enfin tester de nouvelles techniques de lutte en matière de génie écologique comme le procédé écoplage¹⁷.

Il convient également d'analyser minutieusement les différentes options suggérées en matière de lutte, notamment en ce qui concerne leurs avantages et les coûts de leurs réalisations. De ce fait, une des stratégies de protection possible peut être la protection sélective du littoral. Cette position se démarque des choix antérieurs dictés par une intervention systématique sur toute partie de littoral menacée d'érosion, ce qui faisait obstacle à la régulation naturelle par la redistribution des sédiments sablonneux le long de la côte (Union européenne, 2003).

IV.3.4 Impliquer directement les investisseurs et les industriels dans le processus de lutte contre l'érosion

Dans la Côte-Nord, les coûts des mesures destinées à réduire les risques liés à l'érosion littorale sont majoritairement supportés par des fonds publics octroyés par le gouvernement provincial ou par les MRC, mais pratiquement jamais par les responsables de l'érosion côtière. Dans cette optique, il conviendrait de limiter la responsabilité publique pour les risques éventuels et la réparation des dommages et de la transférer en partie aux bénéficiaires directs et les investisseurs. Il en résulterait un accroissement de la vigilance. À ce titre, les promoteurs industriels comme Hydro-Québec et les grandes compagnies minières implantées dans la région doivent être impliqués directement dans la lutte contre l'érosion infligée aux littoraux, et dont ils sont en partie responsables. Ceci devrait certainement accroître leur vigilance à l'égard de la fragilité des espaces côtiers. De même, les préoccupations relatives à l'érosion côtière ainsi que les autres considérations liées à l'exploitation et la gestion

¹⁷ Système mécanique qui absorbe, à l'aide d'une pompe, l'énergie de la houle. Il draine ainsi l'eau par dépression dans une canalisation souterraine et permet l'engraissement de la plage par les sables en suspension portés par la houle.

des côtes, devraient être prises en compte dans les évaluations des incidences sur l'environnement.

Conclusion

Si la ligne de rivage sur le tronçon littoral de la zone à l'étude «Pointe aux Basques-rivière Moise» n'a pas connu de changements spectaculaires durant la période 1950-2001, elle a par contre sensiblement reculé ces dernières années. L'étude établie par la CRÉCN (2006) démontre que le secteur Pointe aux Basques et celui des plages Fergusson constituées en majorité de plages et de terrasses de sable sont affectés par une érosion généralisée depuis pratiquement 2001. Les moyennes de recul respectives enregistrées durant la période 2001-2006 pour ces deux secteurs sont de -1,08 et -3,24 m/an. De même, les deux secteurs restants, en l'occurrence Maliotenam et Moisie ont connu des reculs significatifs malgré que leurs bilans annuels moyens pour la même période affichent des résultats positifs (jusqu'à -4,08m/an pour le transect 32 dans le secteur Maliotenam) (CRÉCN, 2006).

D'une manière générale, le taux de recul le plus important pour toute la zone à l'étude durant la période 1950-2001 a été enregistré au niveau du transect n° 13 dans le secteur des plages Fergusson par -1,15m/an. Le même secteur se démarque également par l'accrétion la plus significative qui est de l'ordre de 0,71m/an au niveau du transect n° 6.

Même si les processus érosifs liés principalement aux changements climatiques, aux conditions de glace et à l'augmentation des fréquences des tempêtes ont joué un rôle fondamental dans l'érosion des côtes sablonneuses au niveau des secteurs à l'étude, les perturbations humaines comme la construction des barrages sur les cours d'eau pourvoyeurs des plages en sédiments ne doivent pas être négligées ou occultées. Leur action négative de plus en plus intense sur les littoraux a été mise en évidence par plusieurs auteurs depuis longtemps un peu partout dans le monde. Il est temps à notre avis d'approfondir les connaissances en ce domaine pour évaluer aux

justes prix les quantités qui peuvent être emprisonnées par de telles infrastructures et de revoir la politique de leur construction qui doit obéir strictement aux nouvelles règles d'aménagement du bassin versant dans son ensemble.

Aujourd'hui, la volonté de dompter les forces jugées «hostiles» de la nature laisse la place aux interrogations sur la manière de gérer le développement des activités humaines sans compromettre l'avenir pour les générations futures (Clus-Auby, 2000).

Au Québec, la lutte contre l'érosion côtière s'impose de plus en plus comme une nécessité absolue pour assurer la protection de son littoral sur la Côte-Nord. Après une prise de conscience remarquable depuis la fin des années 1970, le gouvernement du Québec, en collaboration avec les autorités régionales (M.R.C et municipalités) a mis en place plusieurs stratégies de lutte contre les risques d'érosion, non seulement par l'adoption de lois et règlements, mais aussi par l'acquisition de moyens de pointe nécessaire au traitement de ce problème : cartographie des zones à risque, système d'information géographique et suivi vidéographique aéroporté.

Avec plus d'un demi siècle d'expérience de lutte acharnée contre ce phénomène, les stratégies adoptées n'ont pas donné de solutions miracles pour contrecarrer l'érosion, car leur application était souvent réduite à une échelle restreinte, juste pour faire face à des situations d'urgence.

La prise au sérieux de l'érosion côtière dans la région de Sept-Îles comme partout ailleurs, doit franchir un nouveau cap dans le traitement de ce dossier. Il s'agit à notre avis de mieux utiliser et évaluer la somme de l'expérience acquise, et d'acquérir de nouvelles compétences, législatives et techniques notamment, qui permettent d'évoluer vers un traitement de problème dans une perspective globale d'aménagement du territoire et de bassins versants.

D'ici là, si les recherches restent à poursuivre pour mieux comprendre les mécanismes du fonctionnement de la cellule sédimentaire d'un espace côtier bien défini, et si les projections avancées ne peuvent être d'une grande précision, la certitude d'une évolution dans le sens de la régression est désormais établie.

BIBLIOGRAPHIE

Monographie

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, vol. 58, no 1, p. 45-71.

BERNATCHEZ, P., LESSARD, G.L. et DUBOIS, J.-M. M. in Conférence régionale des Élus de la Côte-Nord, 2009. Évaluation du risque d'érosion littorale de la Côte-Nord de Saint-Laurent : Évaluation littorale et dynamique côtière, chapitre 5 partie1, p. 169.

BIRD, E C F. 1985. Coastline changes: a global review. Edition «Chichister»; Toronto: J. Willey, c1985, 219 p.

BAXTER, R. 1980. Les effets des barrages et des retenues d'eau sur l'environnement au Canada. Ministère des Pêches et des Océans. Ottawa 1980, 36 p.

DUBOIS, J.-M.M; LESSARD, G.L. 1984. L'affrontement de deux géants : L'évolution millénaire du delta de la rivière Moisie dans le golf de Saint-Laurent. GEOS, vol. 13, n° 1, p. 13-16.

GAILLOT, S.; CHAVEROT, S. 2001. Méthode d'étude des littoraux à faible évolution. Cas du delta du Golo (Corse) et du littoral du Touquet (Pas de Calais) en France. Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol. 1, p. 45-54.

GRENIER, A. ; DUBOIS, J.M.M. 1990. Évolution littorale par télédétection. Synthèse méthodologique. Photo-interprétation, n° 1990/6, p. 3-16.

LACROIX, J. ; BOIVIN, D.J. 1991b. Étude du phénomène de pluies diluviennes en tant que catastrophe naturelle; une évaluation en matière de protection et de vulnérabilité municipale, *in* Conférence régionale des élus de la Côte-Nord. Érosion des berges. 2006, Chapitre III, n° 6, pp. 77-78

LESSARD, G.L., DUBOIS, J.-M. M., NADEAU, L. et LAMBERT, M. (1989) Flèches transversales de plate-forme rocheuse de l'île d'Anticosti, Québec. *Le Géographe Canadien*, vol. 33, n° 2, p. 98-107.

MIOSSEC, A. 1998. L'érosion entre nature et société : Rythmes et bilans dans les domaines littoraux. Édition SEDES (1998), p. 305-325.

NONN, H. 1974. Géographie des littoraux. Presse universitaire de France. Coll. «SUP», p. 18-21.

PASKOFF, R. 2005. Les plages vont-elles disparaître? Édit: Le Pommier, Paris 2005, 57 p.

PASKOFF, R. 2002. Côtes en danger. Coll. «Pratique de la géographie». Édit Masson, Paris, 1992, pp 58-59.

PASKOFF, R.2001. L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers, le mythe et la réalité. Paris, Institut Océanographique, p. 92.

PASKOFF, R. 1985. Les littoraux : Impact des aménagements sur leur évolution. Coll. « géographie». Paris, pp.11.

PASKOFF, R. 1981. Que sais-je? L'érosion des côtes : Presses universitaires de France, Paris, 128 p.

PIRAZOLLI, P A. 1993. Les littoraux. : Impact des aménagements sur leur évolution. Coll. «Géographie d'aujourd'hui». Paris, p 37-49.

ROBIN, M. 2002. Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique
In Le littoral : regards, pratiques et savoirs. Éditions Rue d'Ulm /Presses de l'École normale supérieure, Paris, 230 p.

Thèses et mémoires

BERNATCHEZ, P. (2003). « Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes : Synthèse, processus, causes et perspectives ». Thèse de doctorat, Département de Géographie, Université Laval, 460 p.

DUBOIS, J.-M.M .1979b. «Environnement quaternaire et évolution postglaciaire d'une zone côtière en bordure sud du Bouclier Canadien: la moyenne Côte-Nord du Saint-Laurent, Québec ». Thèse de doctorat, Université d'Ottawa, 754 p.

MADOUNI, A. 1997. «Géomorphologie et aménagement du littoral de Kenitra (de part et d'autre de l'estuaire du Sebou)». Thèse de Doctorat en Géographie, Brest, 285 p.

PANASUK, S. 1987. « L'érosion actuelle et récente des îles Varennes dans la région de Montréal » Mémoire de Maitrise, Montréal, Université du Québec à Montréal, 100 p.

Publications gouvernementales et internationales

BAPE, 2009. Projet d'aménagement d'un complexe hydroélectrique sur la rivière Romaine. Rapport d'enquête et d'audiences publiques n° 256, p. 23-103.

BAPE, 2001. Aménagement d'une nouvelle centrale hydroélectrique en aval du réservoir Sainte-Marguerite-2. Rapport d'enquête et d'audiences publiques n° 154, 62 p.

BAPE, 1993. Aménagement hydroélectrique Sainte-Marguerite-3 : Rapport d'enquête et d'audience publique, pp. 18 -22

COMITÉ ZIP CÔTE-NORD DU GOLFE, 2006. L'érosion côtière et les impacts des méthodes de stabilisation sur l'environnement. Document d'information ; octobre 2006, 42 p.

COMITÉ ZIP CÔTE-NORD DU GOLFE, 2007. L'érosion des berges dans le Québec maritime. Document d'information ; Mars, 2007, p. 6.

DUBOIS, J.-M.M. 1999. Dynamique de l'érosion littorale sur la Côte-Nord du Saint-Laurent, in Municipalité régionale de Comté de Manicouagan et comité ZIP de la Rive-Nord de l'estuaire. Vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin. Baie-Comeau, 207 p.

HYDRO-QUÉBEC, 2002. Construction de l'aménagement hydroélectrique de la Sainte-Marguerite-3, 1994-2002. Faits saillants du bilan environnemental, p. 10.

GAGNÉ. G.-H, 1991. Biennale Côte-Nord 1991; enrochement des berges M.R.C. Manicouagan. Conseil de la M.R.C. Manicouagan, Baie-Comeau, 26 octobre 1991, 4 p. et annexes

ELLEFSEN, H. F., 2008. Rapports d'activités : Échantillonnage de poissons dans la zosténaie de la baie de Sept-Îles. Rapport présenté par le ministère des Pêches et des Océans, 10 p.

MIGNIOT. C, 1987. Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral, ER-PM 88-01 et 02.

MRC de Sept-Rivières, 2002. Premier projet de schéma d'aménagement révisé 46 p.

MATE ET METL (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et ministère de l'Équipement, de Transport et du Logement). 1997. Plan de prévention des risques littoraux. La documentation française, Paris, 54 p.

ORGANISATION DES NATIONS UNIES, 1983. Technologie pour la lutte contre l'érosion des côtes. New York, 1983. 143 p.

OURANOS, 2008. Étude de la sensibilité des Côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques: Synthèse des résultats. Québec, 48 p.

SAVARD, J.-P. 1998. Avis scientifique sur la dynamique sédimentaire dans l'estuaire de la rivière Pornneuf. Rapport d'étude préliminaire pour Hydro-Québec, Baie-Comeau, 50 p.

VILLE DE SEPT-ÎLES, 2007. Érosion des berges: Étude technique de d'opportunité. Sainte-Foy (Qué.): Rapport technique, Référence : 2432-01-24, 64 p.

Articles

BERNATCHEZ, P. 2003b. Les impacts des changements climatiques sur les littoraux de l'estuaire et du golfe de Saint-Laurent. Résumé du colloque sur les changements climatiques au Canada, 71^e congrès de l'Acfas, Rimouski, mai 2003.

BERNATCHEZ, P. et DIONNE, J.-C. 1999. Observations sur les processus cryogéniques dans l'érosion des falaises meubles : l'exemple de la haute Côte-Nord. 20^e Colloque du Centre d'études nordiques, Québec, pp. 29-30.

DUBOIS, J.-M.M; LESSARD, G.L. 1986. Tempêtes et érosion littorale actuelle des falaises sur la Moyenne Côte-Nord du Saint-Laurent, Québec. *In* Société Tsunami. Résumés, Symposium international Périls et catastrophes. Université du Québec à Rimouski, 3-9 août 1986, p. 33.

CARDINAL, F. 2008. «La Romaine, érosion des berges. Hydro-Québec ferme les yeux». *La Presse* (Montréal), 11 novembre 2008, p. B6

DESJARDINS, R ; MONDERIE, R. 1999. L'erreur boréale. Prod. Bernadette Payeur. ACPAV Inc. Office national du film du Canada. DVD, 68 mn 37s, son, couleur.

PASKOFF, R. 2000. Les changements climatiques et les espaces côtiers "L'élévation du niveau de la mer : Risques et réponses" : Actes du colloque d'Arles (Arles, 12-13 octobre 2000), 98 p.

Sites internet

Atlas Canada, 2009. Sensibilité des côtes à l'élévation du niveau de la mer.

Site internet:

<http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/climatechange/potentialimpacts/coastalsensitivitysealevelrise?scale=10488256.316757&mapsize=750%20666&mapxy=2319287.9679698455%20506375.2139218645&urlappend=> (Page consultée le 16 octobre 2009)

Comité zip Côte-Nord du Golfe, 2009. Guide d'intervention en matière de conservation et de mise en valeur des habitats littoraux d'intérêt de la MRC de la Minganie : la caractérisation des habitats des littoraux. Fiche 8, Baie de Sept-Îles, 14p.

Site internet :

http://www.zipcng.org/documentation/Caracterisation/MRC_de_SeptRivieres/8Baie_Sept_Iles.pdf. Page consultée le 12 mars 2009.

Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, 2006. Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent, chapitres 1 à 8, 291p.+ annexes.

Site internet :

http://www.crecotenord.qc.ca/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=97&Itemid=278 (Page consulté le 12 octobre 2007).

CLUS-AUBEY, C. 2000 La gestion de l'érosion des côtes : L'exemple aquitain. Presses universitaires de Bordeaux, p 50-172

site internet :

<http://books.google.ca/books?id=AMeJE1qoUHgC&pg=PA5&lpg=PA5&dq=Christine+Clus-Auby&source=bl&ots=B4v>

i9fr4H&sig=eQXm5ePTi2CTjsraeM_kB9kT2Co&hl=fr&ei=-
54NSsyEG4_OMr63na4G&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4#PPA50,M1
(Page consultée le 02 juillet 2009)

DELECLUSE, P 2007. Changements climatiques et prévention du risque sur le littoral. Séminaire sur les risques naturels majeurs en date du 19 septembre 2008.
Site internet : http://www.littoral.ifen.fr/uploads/media/risques_littoral.pdf (Page consultée le 5 juin 2008).

ENVIRONNEMENT CANADA, 2008. Données climatiques en ligne. Stations météorologiques de Sept-Îles et Sept-Îles A : Données historiques 1950-2001.

Site
internet http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/dataQuality_f.html
(Page consultée le 16 janvier 2008).

HUGO, V. 1836. Victor Hugo dans la manche (1986).

Site internet: [http://www.wikimanche.fr/Victor_Hugo_dans_la_Manche_\(1836\)](http://www.wikimanche.fr/Victor_Hugo_dans_la_Manche_(1836))
(Page consultée le 12 janvier 2010)

Pêche et océans Canada. Gestion de données scientifiques intégrées. Accès aux données sur les océans. Marées et niveau d'eau.

Site internet : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/index-fra.htm> (Page consultée le 20 juillet 2008).

Québec, gouvernement du Québec, 2006. Cadre de prévention des risques naturels : Le gouvernement du Québec innove en misant sur la prévention, communiqué C479.

Site internet :

http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/annexes_communiques/faits_saillants_cadre_prevention_risques_naturels.pdf (page consultée le 20 avril 2009)

Québec, Ministère de l'Environnement, du Développement durable et des parcs, 1996. Bassin versant de la rivière Moisie.

Site internet :

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/moisie/index.htm#localisation> (page consultée le 20 avril 2008).

Québec, Ministère de l'Environnement, 2002. Construction d'une nouvelle centrale de 52 MW destinée à augmenter la puissance du complexe hydroélectrique Sainte-Marguerite-2 par la compagnie Gulf Power inc. Rapport d'analyse environnementale, Dossier 3211-12-60, p 23.

Site internet :

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/evaluations/decret/ste-marguerite.pdf> (page consultée le 15 mars 2008).

Société Radio-Canada, 15 janvier 2008. Est du Québec et érosion des berges : Des conseillers de Sept-Îles blâment Hydro-Québec.

Site internet : www.webotheque.net/Cote-Nord/?q...des+berges (page consultée le 15 janvier 2008).

Union Européenne, 2004. Vivre avec l'érosion côtière en Europe : Espace et sédiment pour un développement durable. Bilan et recommandations pour un développement durable. Bilan et recommandation du projet EuroSION.

Site internet: http://www.euroSION.org/reports-online/part1_fr.pdf
(Consulté le 12 janvier 2010)

Union Européenne, 2003. Érosion littorale de la mer méditerranée: Les conséquences pour le tourisme, rapport présenté à la commission des questions économique et du développement en date du 16 octobre 2003.

Site internet:

<http://assembly.coe.int/documents/workingdocs/doc03/fdoc9981.htm> (consulté le 8 janvier 2010).