



CHAPITRE 4 : PERSPECTIVES RELATIVES À LA RÉGION DE LA CÔTE EST DU CANADA

Auteurs principaux :

Jean-Pierre Savard (*Ouranos*), Danika van Proosdij (*Université Saint Mary's*) et Stéphane O'Carroll (*Géo Littoral Consultants*)

Auteurs collaborateurs :

Trevor Bell (*Université Memorial*), Pascal Bernatchez (*Université du Québec à Rimouski*), Norm Catto (*Université Memorial*), Anthony Charles (*Université Saint Mary's*), Claude Desjarlais (*Ouranos*), Susan Drejza (*Université du Québec à Rimouski*), Thomas James (*Ressources naturelles Canada*), Liza Leclerc (*Ouranos*), Nathalie Martel (*Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec*), François Morneau (*Ouranos et ministère de la Sécurité publique du Québec*), Chantal Quintin (*Université du Québec à Rimouski*), Christina Robinson (*Université Memorial*) et Anne Warburton (*Elemental Sustainability Consulting*)

Notation bibliographique recommandée :

Savard, J.-P., van Proosdij, D. et O'Carroll, S. « Perspectives relatives à la région de la côte Est du Canada », dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (éd.), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario) p. 99–152.

TABLE DES MATIÈRES

PRINCIPALES CONCLUSIONS	102	4.7 EFFETS SUR LES ÉCOSYSTÈMES	114
1 INTRODUCTION	103	4.8 MIGRATION DES ÉCOSYSTÈMES ET COMPRESSION CÔTIÈRE	115
2 CHANGEMENTS CLIMATIQUES OBSERVÉS ET PRÉVUS	103	4.9 IMPACTS DES MODIFICATIONS HUMAINES SUR LA CÔTE	116
2.1 TEMPÉRATURE DE L'AIR ET PRÉCIPITATIONS	104	5 COLLECTIVITÉS ET SECTEURS ÉCONOMIQUES	117
2.2 TEMPÉRATURE DE L'EAU DE L'OCÉAN	104	5.1 EXPOSITION	117
2.3 VENT ET TEMPÊTES	105	5.2 SENSIBILITÉ	118
3 CHANGEMENTS DANS LES PROCESSUS PHYSIQUES ET LA GÉOMORPHOLOGIE CÔTIÈRE	105	5.3 CAPACITÉ D'ADAPTATION	119
3.1 CHANGEMENTS DANS LE NIVEAU RELATIF DE LA MER	106	5.4 ÉVALUATIONS DE LA VULNÉRABILITÉ	121
3.2 ONDES DE TEMPÊTE ET NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES	107	5.5 IMPACTS	123
3.3 RÉGIME DES VAGUES ET GLACE DE MER	108	5.5.1 ÉCONOMIE	123
3.4 GÉOMORPHOLOGIE, APPORT DE SÉDIMENTS ET DYNAMIQUE DES CÔTES	109	5.5.2 SÉCURITÉ PUBLIQUE	127
4 CHANGEMENTS DANS LES PROCESSUS BIOLOGIQUES ET LES ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS	111	5.5.3 CULTURE ET PATRIMOINE	127
4.1 RÉPERCUSSIONS DES CHANGEMENTS DANS LA TEMPÉRATURE DE LA MER	111	6 ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	129
4.2 HYPOXIE	112	6.1 DÉFI POSÉ PAR UN ENVIRONNEMENT EN MUTATION	129
4.3 ACIDIFICATION	113	6.2 FACTEURS INSTITUTIONNELS TOUCHANT L'ADAPTATION	131
4.4 SALINITÉ	113	6.3 OPTIONS D'ADAPTATION CÔTIÈRE	134
4.5 QUALITÉ DE L'EAU	113	6.3.1 AUCUNE INTERVENTION ACTIVE	134
4.6 INTRUSION D'EAU SALÉE	114	6.3.2 ÉVITEMENT ET RETRAIT	135
		6.3.3 ACCOMMODEMENT	135
		6.3.4 PROTECTION	136
		6.4 RÉPERCUSSIONS ET ORIENTATIONS FUTURES	137
		7 RÉFÉRENCES	138

PRINCIPALES CONCLUSIONS

La région de la côte Est du Canada présente une grande variété sur les plans géographique, écologique et social, qui se traduit par un vaste éventail d'effets et de réactions en ce qui concerne les changements climatiques. L'analyse de la documentation existante et des initiatives d'adaptation en cours a mené aux principales conclusions suivantes :

- **Les températures de l'air et de la surface de la mer et l'acidité des océans ont toutes augmenté dans la région au cours du dernier siècle, alors que la couverture de glace de mer a diminué.** Parmi les changements climatiques prévus pour le XXI^e siècle, on note le réchauffement continu des températures de l'air et de l'eau ainsi que l'augmentation des précipitations, de l'acidification et de la stratification de l'eau. Le niveau de la mer s'élèvera et sera caractérisé par une variabilité régionale importante. La superficie, l'épaisseur, la concentration et la durée de la glace de mer diminueront, et son volume diminuera probablement de plus de 95 % d'ici la fin du XXI^e siècle.
 - **La couverture de glace de mer et l'élévation du niveau de la mer sont des facteurs déterminants importants des taux d'érosion côtière.** Des augmentations de l'érosion côtière ont été documentées le long de nombreuses côtes de la région pendant les années caractérisées par des hivers doux et une faible couverture glacielle. Les taux d'érosion côtière futurs augmenteront probablement dans la plupart des secteurs.
 - **Il existe plusieurs mesures d'adaptation qui promeuvent la résilience des zones côtières.** Celles-ci comprennent la protection, la végétalisation et la stabilisation des dunes; le maintien de l'apport en sédiments; et la création de zones tampons, de servitudes révisables ou de marges de reculement qui permettent la migration de la ligne de côte vers l'intérieur des terres.
 - **Même si la construction de structures de défense côtière structurelles peut s'imposer en vue de contrer l'élévation du niveau de la mer et les inondations côtières dans certaines situations, en particulier dans les zones urbaines, ces structures perturbent les processus côtiers et peuvent aggraver l'érosion, la sédimentation et la compression côtière, entraînant la dégradation et la perte d'habitats et de services écosystémiques côtiers.** Le recul, l'alimentation en sable et le réalignement géré constituent des solutions de rechange aux structures de défense côtière structurelles.
 - **L'expérience dans la région de la côte Est a démontré que les mécanismes comme les reculs, qui contrôlent ou interdisent le développement côtier, peuvent être difficiles à mettre en œuvre.** Toutefois, il est souvent encore plus difficile d'enlever et de déplacer des bâtiments se trouvant sur une ligne de côte en érosion ou dans une zone inondable. Le choix des options d'adaptation appropriées peut être particulièrement difficile à faire dans les zones non constituées en municipalités où les résidences secondaires, les résidences principales et les chalets estivaux occupent une étroite bande littorale parallèle à la côte.
 - **Les provinces et les collectivités de la région ont réalisé des progrès dans la détermination des vulnérabilités aux impacts des changements climatiques en collaborant avec les universités, le secteur privé et les organismes non gouvernementaux.** Plusieurs d'entre elles ont commencé à planifier l'adaptation alors que d'autres sont passées de la planification à la mise en œuvre des stratégies d'adaptation, même si cela s'avère difficile dans bien des cas. Peu d'entre elles participent à la surveillance continue de l'efficacité des stratégies d'adaptation mises en œuvre.
-

1 INTRODUCTION

Aux fins du présent rapport, la région de la côte Est du Canada comprend les côtes maritimes des provinces de l'Atlantique (Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Île-du-Prince-Édouard et Terre-Neuve-et-Labrador) vers le nord jusqu'au bras Hamilton, au Labrador, de même que les côtes maritimes du Québec le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent jusqu'à la ville de Québec (figure 1). La région est habitée par des populations autochtones depuis au moins 9 000 ans (Chapdelaine, 1996), la colonisation européenne ayant débuté au début du XVII^e siècle. Aujourd'hui, plus de 70 communautés ethnolinguistiques sont représentées sur la côte, y compris les peuples des Premières Nations. La population côtière actuelle de la région, soit environ 3 millions de personnes, réside dans quelques grandes villes et beaucoup de petites villes et de modestes hameaux. La densité de population est la plus faible sur la Côte-Nord du Québec et la côte du Labrador.

La région de la côte Est présente une grande variété de paysages constitués d'écosystèmes riches et diversifiés. Les collectivités côtières profitent des services fournis par ces écosystèmes (p. ex. source de nourriture et protection contre l'érosion par les vagues), ce qui contribue à la prospérité économique régionale aussi bien que nationale. Les secteurs des ressources comme les pêches, l'aquaculture, le transport, le tourisme, l'exploitation minière et le développement industriel comptent soit sur les ressources marines, soit sur les services de transport que le milieu maritime rend possible.

Les changements climatiques touchent beaucoup de processus côtiers de même que sur les milieux terrestres et océaniques voisins dans la région de la côte Est. Les changements dans le niveau de la mer, les ondes de tempête et les fortes précipitations peuvent entraîner la défaillance de l'infrastructure côtière, l'érosion des côtes, des inondations le long des côtes et à l'intérieur des terres, des empilements de glace et l'intrusion d'eau salée dans l'eau de surface et l'eau souterraine. Les impacts des changements climatiques comprennent également l'augmentation de la température de l'eau, des changements dans la durée de la couverture glacielle,



FIGURE 1 : Étendue géographique de la région de la côte Est.

l'acidification et l'appauvrissement en oxygène, phénomènes qui peuvent à leur tour avoir une incidence sur les ressources et les écosystèmes marins. Si le nombre de tempêtes violentes (p. ex. tempêtes tropicales ou extratropicales, ouragans) augmente du fait du réchauffement climatique, le risque de dommages causés par le vent, les vagues et l'eau augmentera également. Ces impacts seront encore aggravés par l'élévation du niveau de la mer. Même s'il est généralement reconnu que la fréquence de nombreux dangers naturels liés aux événements climatiques augmentera à l'échelle planétaire par suite du réchauffement climatique, on est moins certains de la portée des changements prévus à l'échelle régionale (voir le chapitre 2; GIEC, 2012).

Les changements climatiques entraîneront des changements à long terme et permanents dans les régions côtières. Les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes marins, terrestres et côtiers touchent les collectivités humaines situées près de la côte, de même que celles qui dépendent des écosystèmes côtiers. La vulnérabilité d'une collectivité côtière aux risques climatiques dépend des caractéristiques physiques de la côte et de la gestion des activités humaines au sein de cet environnement en pleine mutation. Ces changements auront une incidence sur le mode de vie, l'économie et la durabilité des collectivités côtières en présentant à la fois des risques et des possibilités en ce qui concerne les activités économiques. Les collectivités côtières peuvent réduire les risques et profiter des possibilités en s'adaptant à ces conditions changeantes.

Le présent chapitre commence par un aperçu des changements observés et prévus au niveau du climat et des processus côtiers physiques et biologiques de la région de la côte Est (sections 2 à 4). Cela permet de mieux comprendre la portée des impacts des changements climatiques, et la vulnérabilité à ces derniers, sur les collectivités côtières et les principaux secteurs économiques, lesquels sujets font l'objet de la discussion à la section 5. Le chapitre se termine par une discussion du processus d'adaptation et de notre capacité à prendre des mesures qui atténuent les impacts climatiques et tirent profit des possibilités (section 6). L'adaptation est abordée dans le contexte des multiples moteurs du changement, en fonction de la propension des collectivités, des écosystèmes et de l'industrie à évoluer constamment en réaction à un vaste éventail de pressions dont la plupart sont sans rapport avec le climat. L'adaptation aux changements climatiques est un défi qui exige du leadership, de l'imagination et l'inclusion d'une large palette de participants, dont les collectivités, les gouvernements, le secteur industriel, les universités, les chercheurs, ingénieurs et planificateurs du domaine côtier et la société civile.

2 CHANGEMENTS CLIMATIQUES OBSERVÉS ET PRÉVUS

La région de la côte Est du Canada est déjà touchée par les changements climatiques (Vasseur et Catto, 2008). Les plus fortes tendances climatiques ont trait à l'augmentation de la température de l'air au cours du dernier siècle, une tendance qui devrait se maintenir ou s'accroître au cours du siècle à venir, selon les modèles climatiques (Bush *et al.*, 2014). D'autres variables climatiques comme les précipitations, l'évaporation, le brouillard, les vents et la neige peuvent également changer, mais les tendances sont moins marquées que celles concernant la température.

La présente section examine les tendances et les changements prévus touchant certains des paramètres climatiques clés pour la région de la côte Est : la température de l'air, les précipitations et la température de l'eau de l'océan, en raison de leur application à l'échelle mondiale en tant qu'indicateurs des changements climatiques à long terme, ainsi que les vents et les tempêtes, en raison de leur forte influence sur les impacts climatiques le long des côtes. D'autres renseignements sur les changements climatiques observés et prévus dans les régions côtières du Canada sont fournis au chapitre 2 (à l'échelle nationale) et dans l'évaluation du Grand bassin aquatique de l'Atlantique (MPO, 2012b). Les changements touchant le niveau de la mer, la glace de mer et le régime des vagues sont abordés à la section 3 dans le contexte de leurs impacts sur les processus côtiers physiques.

2.1 TEMPÉRATURE DE L'AIR ET PRÉCIPITATIONS

Une augmentation statistiquement significative de la température annuelle moyenne de l'air pendant la période de 1900 à 2010 est manifeste dans toute la région de la côte Est (figure 2). Les données démontrent une tendance générale au réchauffement présentant une grande variabilité interannuelle et interdécennale (voir le chapitre 2 pour une discussion de la variabilité du climat). Le réchauffement moyen pour la région de la côte Est dans son ensemble pendant la période de relevé de 110 ans était de $0,90 \pm 0,37 \text{ }^\circ\text{C}$ (figure 2a). Les stations situées en bordure de l'océan Atlantique se sont réchauffées de $0,75 \pm 0,34 \text{ }^\circ\text{C}$ (figure 2b), alors que celles situées le long de la côte du golfe du Saint-Laurent se sont réchauffées de $1,12 \pm 0,43 \text{ }^\circ\text{C}$ (figure 2c). D'autres études (Finnis, 2013; Galbraith et Larouche, 2013) indiquent de la même manière une augmentation du gradient spatial de changement de température du sud-est vers le nord-ouest dans toute la région de la côte Est. Les augmentations de température dans la région sont semblables ou supérieures au réchauffement mondial moyen au cours de la même période (p. ex. GIEC, 2013).

Les prévisions des modèles climatiques indiquent que les tendances historiques de changement dans les températures de l'air près de la surface devraient se poursuivre et s'accroître (tableau 1). Les précipitations moyennes, qui ne font pas preuve d'une tendance historique claire, devraient augmenter en hiver et au printemps et rester stables ou diminuer légèrement en été et à l'automne. Les changements saisonniers dans la température moyenne de l'air près de la surface et dans les précipitations moyennes pour la région de la côte Est devraient être les plus marqués en hiver (Ouranos, 2010).

2.2 TEMPÉRATURE DE L'EAU DE L'OCÉAN

Les principaux plans d'eau océaniques de la région de la côte Est sont constitués de trois couches distinctes : la couche de surface, une couche intermédiaire froide et une couche plus profonde (Galbraith et Larouche, 2013). Des variations locales ont été remarquées dans beaucoup de secteurs, en particulier dans les échancrures des fjords comme le détroit de Smith, à Terre-Neuve-et-Labrador, et le Fjord du Saguenay, au Québec. La température de l'air croissante (section 2.1) a changé la température des eaux marines et côtières de surface (Han et al., 2013). Pendant la période de 1945 à 2010, la température de l'eau de surface du nord-ouest de l'océan Atlantique a augmenté de $0,32 \text{ }^\circ\text{C}$, la plus grosse augmentation ayant

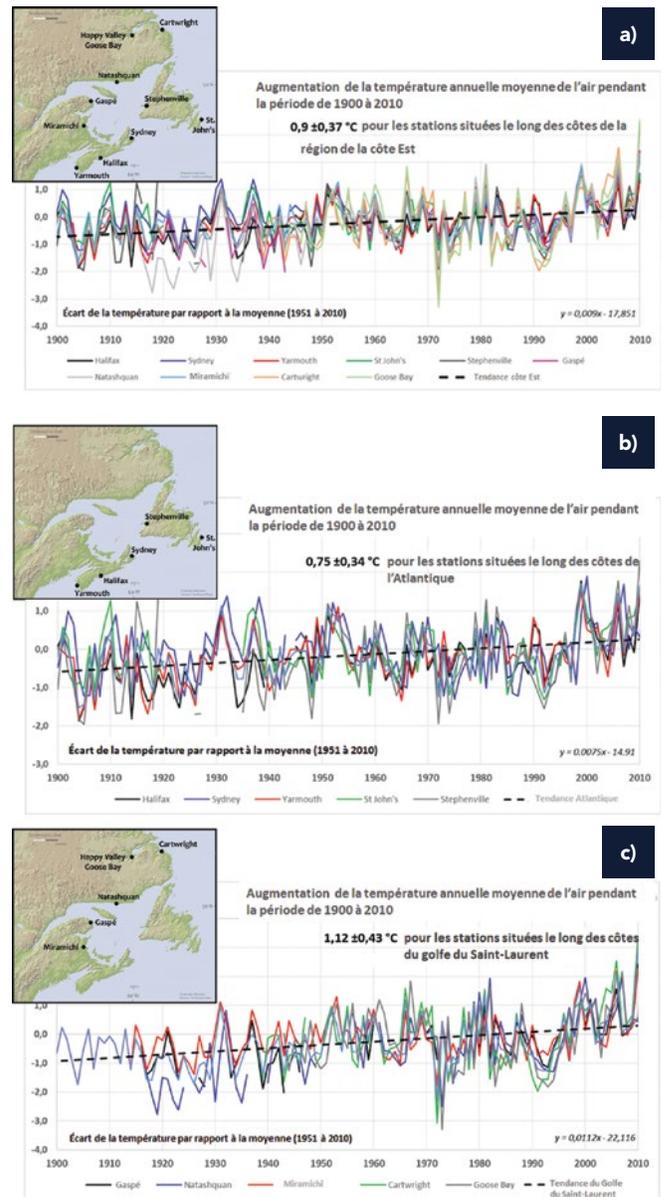


FIGURE 2 : Anomalie de la température annuelle moyenne de l'air (écart par rapport à la moyenne de 1951 à 2010) dans **a)** les stations météorologiques de la région de la côte Est en général, **b)** les stations situées près de l'océan Atlantique et **c)** les stations situées près de la côte du golfe du Saint-Laurent. L'intervalle de confiance est de 95 % pour tous les tracés. Les valeurs positives indiquent que la température annuelle moyenne est supérieure à la température moyenne pour la période de 1951 à 2010. La période de 1951 à 2010 a été choisie comme période de référence en raison de la disponibilité de données homogénéisées (Vincent et al., 2012). Source : Ouranos (extrait modifié tiré de Savard et al., 2008).

été observée dans la mer du Labrador (Han et al., 2013). L'augmentation de la température de l'eau de surface dans le golfe du Saint-Laurent est semblable à celle de la température de l'air dans la même région (Galbraith et al., 2012). Sur la côte atlantique, des augmentations de $+1,04 \text{ }^\circ\text{C}$ et $+0,89 \text{ }^\circ\text{C}$ de la température de l'eau de surface ont été notées dans les cas de la mer du Labrador et de la plate-forme Néo-Écossaise, respectivement, pendant la période de 1982 à 2006 (Sherman et al., 2009), alors qu'une tendance semblable au réchauffement ($+0,38 \text{ }^\circ\text{C}/\text{décennie}$) a été notée dans le cas de la mer du Labrador pendant la période de 1981 à 2010 (Han et al., 2013).

TABLEAU 1 : Changement prévu dans la température de l'air près de la surface et les précipitations dans la région de la côte Est pour des périodes de 30 ans, centrées sur 2020, 2050 et 2080, par rapport à la période de 1970 à 2000, d'après les résultats du projet d'intercomparaison des modèles couplés (Coupled Model Intercomparison Project – CMIP 3) ayant recours aux scénarios du *Rapport spécial sur les scénarios d'émissions* (GIEC, 2007). Voir Ouranos (2010) pour obtenir des détails sur la méthodologie.

Saison	Paramètres climatiques	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	1,4 à 2,2 °C	2,5 à 3,8 °C	3,4 à 5,0 °C
	Précipitations	2,8 à 9,7 %	6,5 à 15,4 %	12,6 à 22,9 %
Printemps	Température	0,8 à 1,5 °C	1,6 à 2,7 °C	2,2 à 4,1 °C
	Précipitations	0,3 à 8,1 %	3,1 à 11,5 %	8,8 à 18,5 %
Été	Température	0,9 à 1,6 °C	1,7 à 2,7 °C	2,2 à 3,8 °C
	Précipitations	-1,9 à 5,2 %	-1,4 à 5,7 %	-4,0 à 7,1 %
Automne	Température	1,1 à 1,6 °C	1,9 à 2,8 °C	2,3 à 4,1 °C
	Précipitations	-2,8 à 3,6 %	-2,0 à 7,1 %	-0,9 à 10,1 %

Les prévisions du climat mondial indiquent généralement une tendance au réchauffement généralisée (1 à 3 °C d'ici 2100 en fonction d'un scénario à émissions modérées) de la couche supérieure des océans entourant le Canada au cours du XXI^e siècle, phénomène qui sera caractérisé par une variabilité saisonnière et spatiale considérable (Meehl *et al.*, 2007; Capotondi *et al.*, 2012). On s'attend à ce que le réchauffement soit plus restreint dans l'Atlantique Nord au sud du Groenland, en raison d'une réduction probable du transport océanique de chaleur vers le nord par la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique (Drijfhout *et al.*, 2012; Hutchings *et al.*, 2012). On ne sait pas encore clairement si cette anomalie prévue dans la température de l'océan se prolongera vers l'ouest dans les eaux côtières de Terre-Neuve-et-Labrador, puisque les modèles mondiaux éprouvent des difficultés à résoudre le problème que pose la variabilité à l'interface entre la glace et l'océan dans la mer du Labrador (de Jong *et al.*, 2009).

2.3 VENT ET TEMPÊTES

Il est difficile de déterminer avec certitude les tendances en matière de vitesse et de direction du vent et en matière de tempêtes ayant eu lieu au cours du XX^e siècle, en partie parce que les ensembles de données ne sont pas aussi complets que ceux concernant la température de l'air. Le vent est très sensible à la topographie locale et tout déplacement d'un anémomètre (même sur une courte distance) ou remplacement d'instrument ou d'équipement peut introduire dans une série chronologique des changements importants n'ayant aucun rapport avec les changements climatiques. Les bases de données les plus fiables ne commencent qu'en 1961 ou en 1979 (lorsque des données d'observation par satellite sont devenues disponibles). L'analyse de la densité des centres de tempêtes violentes au-dessus de l'Amérique du Nord pendant la période de 1961 à 2000 révèle que le nord-ouest de l'océan Atlantique, la mer du Labrador et le golfe du Saint-Laurent font partie des régions les plus orageuses d'Amérique du Nord (figure 3; Savard *et al.*, 2014).

Les prévisions climatiques indiquent qu'il est peu probable que le réchauffement climatique entraîne des changements importants dans la vitesse du vent, mais qu'il est probable que les trajectoires de tempête se déplacent vers le nord, ce qui aurait une incidence sur la fréquence des tempêtes dans la région de la côte Est (Loder *et al.*, 2013).

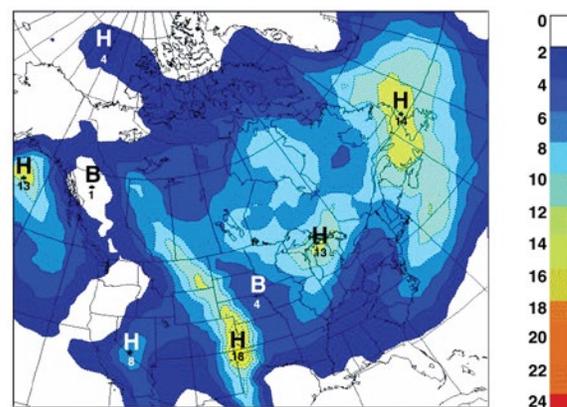


FIGURE 3 : Répartition spatiale de la densité moyenne annuelle des trajectoires de tempête pendant la période de 1961 à 2000 selon une nouvelle analyse ERA-40 (une nouvelle analyse des conditions atmosphériques et troposphériques mondiales pendant une période de 45 ans s'étendant de septembre 1957 à août 2002 par le Centre européen de prévision météorologique à moyen terme; extrait modifié tiré de Savard *et al.*, 2014).

3 CHANGEMENTS DANS LES PROCESSUS PHYSIQUES ET LA GÉOMORPHOLOGIE CÔTIÈRE

Les côtes sont un environnement naturellement dynamique (voir le chapitre 2). Elles sont dans un état de constante évolution mettant en cause le mouvement des sédiments, les modifications au niveau de la morphologie côtière et les changements touchant les organismes qui peuplent ces systèmes. Bien que l'on soit en mesure d'affirmer que les systèmes côtiers maintiennent un équilibre dynamique, cela dépend de la capacité du système de transporter les sédiments le long de la côte par le biais des courants littoraux, ou vers la côte et le large selon la saison par le biais de l'action des vagues. Dans des conditions normales (en excluant les tempêtes), le transport des sédiments le long de la côte se fait par l'entremise du processus de dérive littorale, généralement dans les limites d'une cellule littorale (voir le chapitre 2). Les taux d'érosion ou de sédimentation dépendent d'un éventail de processus naturels (p. ex. apport de sédiments riverains et formation de pieds de glace [glace le long du littoral]) et anthropiques (p. ex. dragage et protection de la côte).

L'augmentation de la température de l'air et de la surface de la mer entraînera des saisons de glace de mer plus courtes, ce qui provoquera une augmentation de l'énergie totale des vagues dissipées sur la côte (Neumeier *et al.*, 2013). En combinaison avec l'élévation du niveau de la mer, ce phénomène aura une incidence sur le risque d'inondation par les ondes de tempête et aggravera l'érosion et la sédimentation côtières dans les régions déjà sensibles à ces processus. Les changements climatiques toucheront également les processus comme les cycles de gel-dégel, les apports des rivières tributaires et l'affouillement glaciaire, qui tous ont une influence sur l'équilibre des sédiments et sont en partie responsable de la nature changeante du paysage côtier.

Dans les sections suivantes, les principaux moteurs de changement liés au climat touchant la géomorphologie côtière sont abordés de manière plus détaillée. Ils comprennent les changements dans le niveau de la mer, les tempêtes et les conditions de glace qui ont une incidence sur les niveaux d'eau extrêmes et les vagues.

3.1 CHANGEMENTS DANS LE NIVEAU RELATIF DE LA MER

Des constatations récentes sur l'élévation du niveau de la mer sont présentées dans des évaluations mondiales comme le Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC; Church *et al.*, 2013; GIEC, 2013). Le changement dans le niveau de la mer à l'échelle mondiale est mesuré en fonction du changement vertical de la surface de la mer par rapport au centre de la Terre, en moyenne, pour tous les océans de la planète. Par contre, le changement du niveau « relatif » de la mer est le changement du niveau moyen de la mer par rapport à la terre ferme en un point précis de la côte (voir le chapitre 2).

Au cours du XX^e siècle et de la première décennie du XXI^e siècle (c.-à-d. de 1900 à 2009), la tendance en matière d'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale était de $1,7 \pm 0,2$ mm/an. Le taux d'élévation du niveau mondial de la mer entre 1993 et 2009 est passé à $3,2 \pm 0,4$ mm/an (d'après l'altimétrie par satellite) ou $2,8 \pm 0,8$ mm/an (d'après les registres des marégraphes; Church et White, 2011). Le GIEC (2013) prévoit une fourchette d'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale de 26 à 98 cm d'ici l'an 2100, d'après les profils représentatifs d'évolution de concentration (Representative Concentration Pathways – RCP) des scénarios d'émissions (voir le chapitre 2). L'effondrement d'un secteur de l'inlandsis de l'Antarctique occidental pourrait ajouter quelques dizaines de centimètres supplémentaires d'élévation du niveau mondial de la mer, mais la probabilité que cela se produise est incertaine (Church *et al.*, 2013).

Dans la région de la côte Est du Canada, les différences spatiales dans le déplacement vertical des terres, en grande partie attribuées à l'ajustement isostatique glaciaire, produisent des différences régionales dans l'élévation du niveau relatif de la mer (voir le chapitre 2). L'ajustement isostatique glaciaire est la réaction retardée de la terre solide au déchargement de la surface de la Terre qui s'est produit à la fin de la dernière période glaciaire. Le déplacement vertical des terres mesuré dans les stations GPS de la région de la côte Est (voir le chapitre 2) se manifeste par une

subsidence des terres dans toute la partie sud-est de la région. La subsidence des terres contribue à l'élévation du niveau relatif de la mer. Dans la partie nord-ouest de la région, les terres se soulèvent et le changement du niveau relatif de la mer est moindre lorsqu'on le compare avec les valeurs mondiales.

Les prévisions récentes de changement du niveau relatif de la mer sur les côtes canadiennes (James *et al.*, 2014), fondées sur les résultats du Cinquième rapport d'évaluation du GIEC, sont décrites au chapitre 2. Les prévisions tiennent compte de l'effet stérique (expansion thermique de la couche superficielle de l'océan), de l'eau de fonte des glaciers de montagne et des calottes glaciaires, ainsi que des inlandsis du Groenland et de l'Antarctique, des changements prévus au niveau de l'océanographie dynamique de même que d'autres sources moins importantes (voir le chapitre 2). Pour une grande partie de la région de la côte Est, une réduction prévue de la puissance du Gulf Stream apporte une contribution de 10 à 20 cm à l'élévation du niveau de la mer d'ici 2100, en raison des effets sur l'océanographie dynamique (Yin, 2012).

Les prévisions pour la région de la côte Est sont présentées aux figures 4 et 5. Dans le cas des scénarios à émissions élevées, l'étude de James *et al.* (2014) a prévu une élévation moyenne du niveau de la mer de 80 à 100 cm plus élevée en 2100 par rapport à la période de 1986 à 2005, dans la partie sud-est de la région (côte atlantique de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick) et du côté sud du golfe du Saint-Laurent (figure 4). Dans la partie nord-ouest de la région de la côte Est (c.-à-d. sur la rive nord du golfe du Saint-Laurent au Québec), on prévoit que le niveau de la mer sera de 20 à 40 cm environ plus élevé que sa position actuelle d'ici 2100. À Terre-Neuve, les prévisions révèlent que le niveau de la mer augmentera de 60 à 80 cm d'ici 2100. Cette variabilité est en grande partie attribuable à des différences dans le déplacement vertical des terres, qui varie de près de 2 mm/an de subsidence en certains endroits de la Nouvelle-Écosse à près de 5 mm/an de soulèvement sur la rive nord du golfe du Saint-Laurent. D'autres

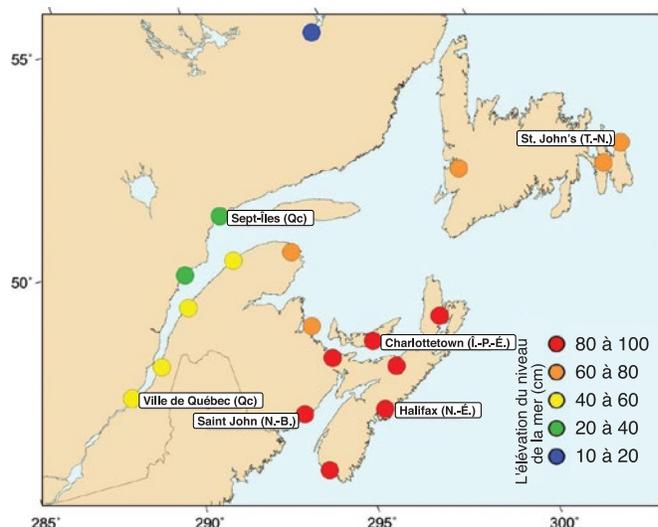


FIGURE 4 : Prévisions de l'élévation du niveau relatif de la mer d'ici 2100 pour la valeur médiane du scénario à émissions élevées (RCP8.5; selon James *et al.*, 2014). Voir le chapitre 2 pour obtenir des renseignements supplémentaires sur les prévisions du niveau de la mer. Les prévisions du niveau de la mer pour tout le XXI^e siècle sont présentées à la figure 5 pour les six collectivités indiquées.

facteurs jouent également un rôle. D'après l'éventail des contributions maximales estimées présentées dans la documentation et résumées par Church *et al.* (2013), James *et al.* (2014) ont estimé que l'élévation supplémentaire du niveau de la mer associée à l'effondrement potentiel d'une partie de l'inlandsis de l'Antarctique occidental pourrait atteindre 65 cm supplémentaires d'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale. Cette contribution supplémentaire pourrait potentiellement faire passer le taux d'élévation du niveau relatif de la mer à plus de 1,5 m d'ici 2100 en certains endroits de la région de la côte Est (figure 5).

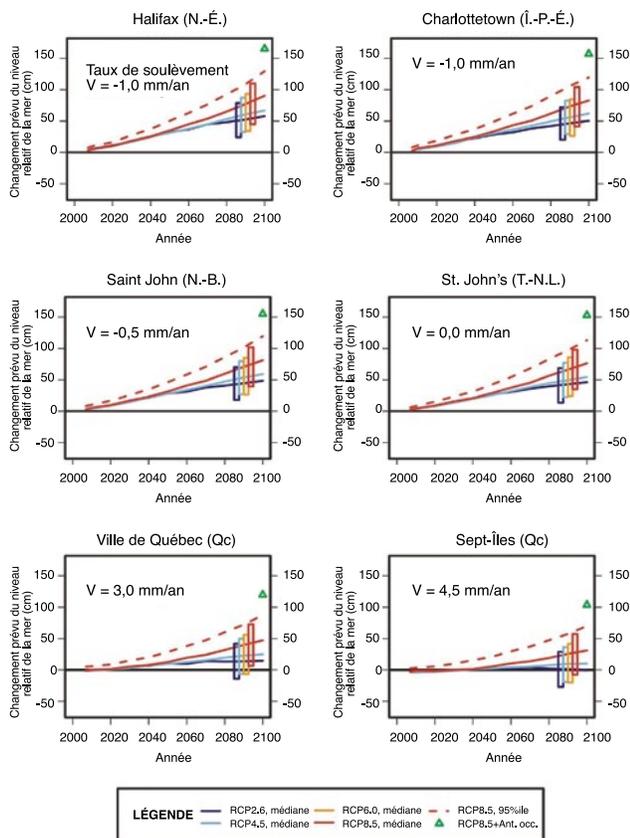


FIGURE 5 : Changements prévus du niveau de la mer pour tout le XXI^e siècle dans des collectivités choisies de la région de la côte Est (selon James *et al.*, 2014, 2015). Le RCP2.6 est un scénario à émissions faibles, les RCP4.5 et 6.0 sont des scénarios à émissions modérées et le RCP8.5 est un scénario à émissions élevées. La valeur prévue en 2100 est également indiquée pour le scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis antarctique, un scénario accru dans lequel l'inlandsis de l'Antarctique occidental apporte une contribution supplémentaire de 65 cm à la valeur médiane prévue du scénario à émissions élevées (RCP8.5+Ant. occ.; triangle vert). Les rectangles illustrent l'intervalle de confiance de 90 % (5^e au 95^e centile) de la prévision moyenne pendant la période de 2081 à 2100 et comprennent également le scénario RCP6.0. La ligne pointillée rouge indique la valeur du 95^e percentile pour le scénario à émissions élevées. Le déplacement vertical des terres (V) est indiqué à 0,5 mm/an près dans chaque panneau. Voir le chapitre 2 pour obtenir une explication plus détaillée des scénarios. Les prévisions pour des sites supplémentaires sont présentées à l'annexe A.

3.2 ONDES DE TEMPÊTE ET NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES

L'élévation causée par les ondes de tempête est la différence entre le niveau d'eau constaté pendant une onde de tempête et le niveau d'eau que la marée atteindrait normalement en l'absence de tempête. Les ondes de tempête découlent de variations dans la pression atmosphérique et le vent (voir le chapitre 2; Forbes *et al.*, 2004; Thompson *et al.*, 2009). Les ondes de tempête peuvent se produire au cours d'un ou de plusieurs cycles de marée (figure 6), selon la vitesse à laquelle se déplace un système dépressionnaire dans une région donnée. Lorsqu'une onde de tempête se produit à marée haute, les terres et les infrastructures situées dans les zones basses peuvent être inondées (étude de cas 1).

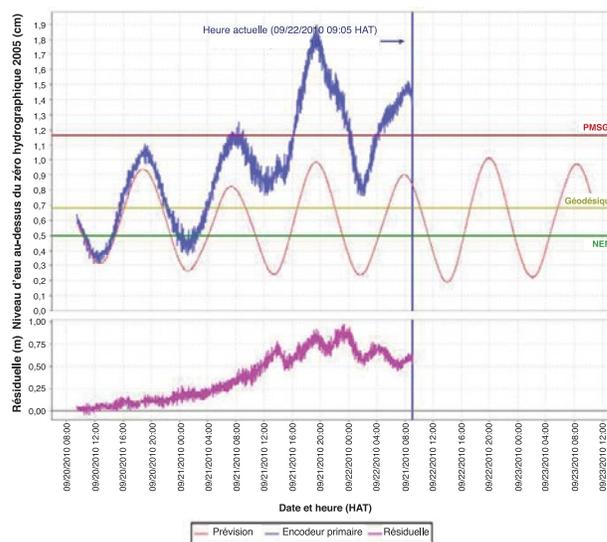


FIGURE 6 : Exemple d'onde de tempête provoquée par l'ouragan Igor (octobre 2010) pendant plusieurs cycles de marée haute à St. John's (T.-N.-L.). La plaine mer supérieure, grande marée (PMSGM) a été dépassée à au moins trois occasions (Service Hydrographique du Canada, Région de l'Atlantique). Abréviations : NEM, niveau d'eau moyen; HAT, heure avancée de Terre-Neuve.

ÉTUDE DE CAS 1

LA TEMPÊTE DU JOUR DE LA MARMOTTE

La tempête du « Jour de la marmotte » du 2 février 1976 est un exemple classique de l'impact d'une tempête se produisant en même temps que la marée haute pour produire une grosse onde de tempête. D'importants dommages (représentant plus de 10 millions de dollars à l'époque) et des inondations côtières ont été signalés dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et le sud du Nouveau-Brunswick, où les niveaux d'eau ont dépassé de plus de 2,5 m les marées prévues, ce qui a provoqué une forte érosion du littoral (Parkes *et al.*, 1997; Desplanque et Mossman, 2004). Les forts vents du sud-sud-est qui ont soufflé pendant 5 à 6 heures ont engendré une grosse onde de tempête dans certaines régions de

la baie de Fundy. Les niveaux d'eau se sont élevés à 3,2 m au-dessus des marées prévues en l'espace de 15 minutes (Desplanque et Mossman, 2004), et de nouveaux records de hauteur de marée ont été établis dans les ports de Yarmouth en Nouvelle-Écosse et de Saint John au Nouveau-Brunswick (Amirault et Gates, 1976). Heureusement pour ceux se trouvant plus haut dans la baie de Fundy, il s'agissait d'une marée printanière d'apogée (plus basse que la moyenne parce que la lune se trouvait au point de son orbite mensuelle le plus éloigné de la Terre). Par conséquent, même si une onde de tempête de 1,46 m a été enregistrée et que les digues ont été débordées, peu de dommages ont été causés. Si la tempête s'était produite 16 jours plus tard, lors de la marée printanière de périgée (plus élevée que la moyenne parce que la lune se trouve au point de son orbite mensuelle le plus proche de la Terre), les dommages auraient été beaucoup plus importants (Desplanque et Mossman, 2004). On estime que si la tempête du Jour de la marmotte s'était produite le 16 avril 1976, elle « aurait eu le potentiel de provoquer une catastrophe de l'ordre de la marée de Saxby [traduction] » (Desplanque et Mossman, 2004; voir le chapitre 2).

À Charlottetown, à l'Île-du-Prince-Édouard, les deux plus grosses ondes de tempête enregistrées entre 1911 et 2000 (1,43 m le 19 décembre 1963 et 1,41 m le 12 mars 1991) n'ont pas inondé les propriétés historiques riveraines de la ville, puisque les deux ondes de tempête se sont produites à marée basse. Toutefois, pendant la même période, six plus petites ondes de tempêtes, survenues à marée haute, ont atteint une hauteur suffisante pour inonder le front de mer de la ville, enregistrant un niveau d'eau maximal de 3,6 m ou plus au-dessus du zéro des cartes (Parkes et Ketch, 2002). D'un point de vue historique, le niveau relatif de la mer s'élève à Charlottetown au rythme de 3,2 mm/an depuis 1911 (Parkes et al., 2002). Si le niveau de la mer avait été aussi haut qu'il l'est aujourd'hui, les ondes de tempêtes de 1963 et 1991 auraient toutes deux entraîné l'inondation du front de mer historique.

En utilisant des données à long terme recueillies à l'aide de marégraphes, Xu et al. (2012) ont étudié la fréquence de récurrence des ondes de tempête extrêmes pour cinq sites dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent et sur la côte atlantique : Lauzon (Qc), Rimouski (Qc), Charlottetown (Î.-P.-É.), Halifax (N.-É.) et St. John's (T.-N.-L.). Même si l'étude a conclu qu'il n'y a aucune tendance observable dans la hauteur des ondes de tempête (c.-à-d. aucune augmentation ou diminution nette) pour l'ensemble de la région de la côte Est, elle a constaté des augmentations dans des sites particuliers de la récurrence des ondes de tempête à St. John's et Rimouski au cours des périodes de 1922 à 1951 et de 1981 à 2011 (Xu et al., 2012). Le degré relatif d'impact négatif des ondes de tempête sur les collectivités côtières est en outre associé à la fréquence des tempêtes de cette ampleur. Les collectivités et les écosystèmes côtiers qui sont souvent touchés par les ondes de tempête sont d'ailleurs plus susceptibles d'avoir élaboré des mesures d'adaptation. Par exemple, une onde de tempête de 1 m est une chose assez rare dans les régions de Placentia et de Ferryland, toutes deux à Terre-Neuve-et-Labrador, et pourrait donc présenter un danger pour les collectivités côtières, alors

qu'une onde de tempête de 1 m à Lauzon, au Québec, est un événement annuel susceptible d'avoir peu d'effet sur le bien-être des résidents de la côte.

Sur les côtes québécoises, Bernatchez et al. (2012a) ont cerné 30 ondes de tempête ayant provoqué d'importants dommages à l'échelle régionale entre 1950 et 2010, y compris 14 qui ont provoqué des inondations. Dans la région du Bas-Saint-Laurent, le jet de rive lors de la tempête du 6 décembre 2010 a fait monter les niveaux d'eau jusqu'à un peu plus de 2 m au-dessus du niveau de la marée haute (Quintin et al., 2013), ce qui correspond à un événement qui se produit une fois tous les 150 ans (Bernatchez et al., 2012a). L'érosion moyenne des côtes sablonneuses basses lors de cette tempête était de 3,7 m, le taux d'érosion maximale atteignant 15 m à un endroit (Quintin et al., 2013).

Les changements climatiques ont une incidence sur les ondes de tempête et les inondations connexes du fait de l'élévation du niveau de la mer, des changements possibles dans la fréquence et l'intensité des tempêtes et d'autres facteurs liés à la dynamique des océans. Par exemple, on prévoit que la résonance tidale de la baie de Fundy fera augmenter l'amplitude de marée et engendrera des niveaux d'eau extrêmes plus élevés, même si elle n'aura pas d'impact sur le niveau moyen de la mer (Greenberg et al., 2012). On estime que cette contribution aux niveaux d'eau extrêmes sera de l'ordre de 5 à 20 cm d'ici 2100 dans la baie de Fundy, en comparaison de près de zéro à Halifax, en Nouvelle-Écosse. L'ampleur des changements dans le niveau de la mer est assez bien comprise, mais les changements possibles touchant d'autres facteurs sont moins bien connus. La modélisation permet l'analyse des impacts potentiels des ondes de tempête en fonction des conditions climatiques futures (p. ex. Bernier et al., 2006).

3.3 RÉGIME DES VAGUES ET GLACE DE MER

La modélisation du régime des vagues (p. ex. Swail et al., 2006) est utilisée dans les évaluations de la vulnérabilité côtière et dans la planification et la conception de l'infrastructure côtière et extracôtière (p. ex. plate-formes de forage, quais, jetées, brise-lames et structures de chargement et de déchargement). Elle a également contribué à améliorer la compréhension au sujet de l'évolution des côtes (c.-à-d. la dynamique des sédiments et les courants), des changements dans les caractéristiques des vagues au fil du temps (c.-à-d. la période, la hauteur et la longueur d'onde) ainsi que des conditions de vague futures possibles compte tenu de l'évolution du climat.

La modélisation du régime des vagues de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent pour la période de 2071 à 2100 indique une augmentation de la hauteur de vagues d'entre 5 cm et 1 m pour une périodicité de 50 ans, de même qu'une légère augmentation de l'énergie moyenne générale des vagues en raison de la diminution de la couverture de glace de mer (Neumeier et al., 2013).

C'est dans la région de la côte Est que la glace de mer hivernale atteint son point d'étendue maximal vers le sud de toutes les eaux côtières du Canada. La couverture annuelle moyenne de glace de mer dans la région de la côte Est a diminué de 0,27 %

par année depuis que le Service canadien des glaces a commencé à recueillir des données en 1968–1969 (voir la figure 7 pour la tendance depuis 1980–1981; Senneville *et al.*, 2014). Pour la période de 1998 à 2013, la diminution moyenne était de 1,53 % par année (Senneville *et al.*, 2014; à noter que les années 2014 et 2015 présentaient toutes deux une couverture de glace supérieure à la médiane de la période de 1980 à 2010). Les températures hivernales moyennes plus chaudes sont responsables de la réduction du pourcentage de couverture de glace, du raccourcissement de la durée de la saison des glaces et de la diminution de l'épaisseur de la glace. On prévoit que ces tendances se maintiendront, et les modèles indiquent que la glace de mer sera presque complètement absente dans la majeure partie du golfe du Saint-Laurent d'ici 2100 (Senneville *et al.*, 2014).

Puisque la couverture de glace entrave la formation des vagues, le raccourcissement de la saison des glaces accroît l'énergie totale des vagues de tempête qui se forment sur un plan d'eau exempt de glaces, comme le golfe du Saint-Laurent (Neumeier *et al.*, 2013). Cela se traduira par une modification de l'équilibre des sédiments côtiers, ayant pour conséquence l'activation du processus d'érosion des côtes dans certaines zones et la réduction du taux d'érosion dans d'autres, à mesure que les matériaux seront redistribués (Jones *et al.*, 2009; Overeem *et al.*, 2011).

Dans le golfe du Saint-Laurent, la période pendant laquelle les glaces entravent les vagues a diminué de 30 % pour la période de 1995 à 2007 (période moyenne de couverture de glace de 55 jours par an) par rapport à la période de 1960 à 1995 (période moyenne de couverture de glace de 80 jours par an; Savard *et al.*, 2008). En comparant les conditions futures (2041 à 2070) au passé récent (1982 à 2011), les simulations modélisées semblent indiquer que la période de couverture de glace diminuera de 36 jours et que le nombre de jours pendant lesquels le pied de glace (glace d'eau douce le long du littoral) protégera complètement la côte diminuera en moyenne de 33,4 jours (Senneville *et al.*, 2014). La formation d'un pied de glace ne se produit actuellement que pendant certains hivers le long des côtes du sud du golfe du Saint-Laurent et autour de la presqu'île Avalon, à Terre-Neuve-et-Labrador, et plus souvent le long de la Côte-Nord du Québec, dans le nord-est de Terre-Neuve et au Labrador.

3.4 GÉOMORPHOLOGIE, APPORT DE SÉDIMENTS ET DYNAMIQUE DES CÔTES

La région de la côte Est présente une géomorphologie variée. On trouve beaucoup de montagnes et de fjords côtiers dans certaines parties de Terre-Neuve-et-Labrador, alors que des falaises rocheuses résistantes, dont la hauteur varie de faible à moyenne et caractérisées par la présence intermittente de côtes meubles, se retrouvent le long des rives nord et est du golfe du Saint-Laurent, de la côte de la baie de Fundy au Nouveau-Brunswick et des côtes atlantiques exposées de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve. Les falaises meubles et érodables sont fort répandues le long des côtes sud et ouest du golfe du Saint-Laurent (Île-du-Prince-Édouard, Nouveau-Brunswick et îles de la Madeleine). Les falaises résistantes de la région reculent lentement, à un rythme annuel de moins d'un centimètre par an (p. ex. Davidson-Arnott et Ollerhead, 2011).

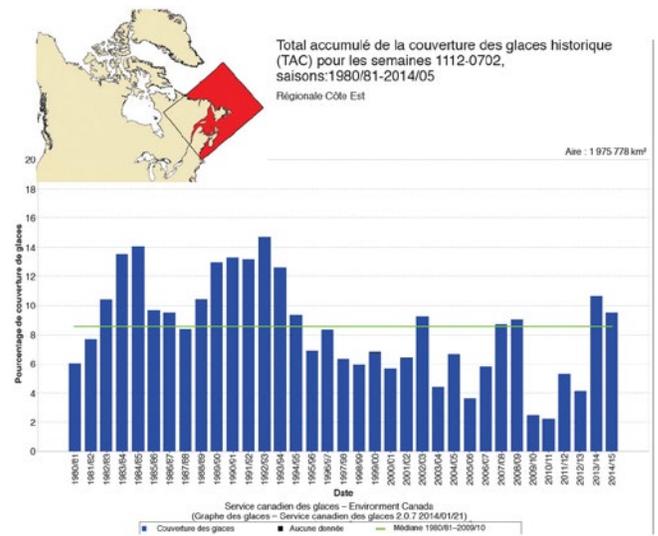


FIGURE 7 : Total accumulé de la couverture des glaces historique pour les semaines du 11 décembre au 7 février de 1980 à 2015 dans la région de la côte Est (Environnement Canada, 2015).

Les falaises côtières constituées de matériaux meubles et de roche tendre et peu résistante sont plus dynamiques (Bezerra *et al.*, 2011) et donc plus sensibles aux changements climatiques. Les côtes basses et meubles constituées de marais salés, d'îles barrières et de plages sablonneuses se trouvent principalement le long de l'estuaire du Saint-Laurent et sur les côtes ouest du golfe du Saint-Laurent (Québec, Île-du-Prince-Édouard et Nouveau-Brunswick) et sur les îles de la Madeleine, de même que le long de la baie de Fundy, en particulier à son embouchure. De grands marais salés et bas-fonds intertidaux de matériaux à grains fins sont exposés à marée basse dans la partie supérieure de la baie de Fundy, où les marées peuvent dépasser 14 m.

Au cours de la dernière glaciation, de grandes quantités de sédiments ont été mis en place au large parce que le niveau de la mer était considérablement plus bas qu'aujourd'hui (Shaw *et al.*, 2002). Les ajustements isostatiques glaciaires subséquents (voir le chapitre 2) ont entraîné une élévation du niveau de la mer qui a remanié ces sédiments de manière à former beaucoup des plages, flèches et îles barrières que l'on voit aujourd'hui le long des côtes de la région de la côte Est (Davidson-Arnott et Ollerhead, 2011). Toutefois, à l'exception de la majeure partie de Terre-Neuve-et-Labrador, les abondantes ressources en sédiments du plateau continental ont été épuisées dans toute la région, faisant ainsi que la plupart des sédiments qui alimentent actuellement les plages côtières proviennent de l'érosion des côtes, du remaniement des sédiments côtiers par les courants littoraux et des matériaux transportés sur les côtes par les rivières et les cours d'eau. Cela se traduit par un déficit chronique de sédiments, lequel phénomène peut être aggravé par le recours aux mesures de protection des côtes souvent associées à l'urbanisation côtière (O'Carroll *et al.*, 2006; Bernatchez *et al.*, 2008b; Bernatchez et Fraser, 2012).

On assiste actuellement à un recul généralisé des côtes vers la terre (tableau 2) qui se poursuivra à l'avenir. Il est important de remarquer qu'à part l'Île-du-Prince-Édouard et certaines parties

de la côte du Nouveau-Brunswick, les taux d'érosion n'ont pas été calculés de manière uniforme ou avec les mêmes normes de mesure aux fins de comparaison. La progradation (avancée de la côte vers la mer) se produit en certains endroits précis, souvent par suite de l'érosion d'autres zones côtières (Forbes *et al.*, 2004; O'Carroll *et al.*, 2006; Jolicoeur *et al.*, 2010; Davidson-Arnott et Ollerhead, 2011). Le taux d'érosion des côtes est associé à la lithologie du substratum rocheux (Davidson-Arnott et Ollerhead, 2011), au relief côtier ou aux facteurs liés au climat océanique (p. ex. ondes de tempête, phase de la marée et élévation du niveau de la mer).

Les taux d'érosion varient également en fonction du type de relief côtier. Par exemple, les taux d'érosion au Nouveau-Brunswick sont les plus élevés dans les reliefs formés par des systèmes de dunes de plage (atteignant en moyenne 0,78 m/an) et les plus faibles dans les endroits de falaises (0,26 m/an; tableau 3). Les reliefs côtiers comme les plages, les dunes et les marais ont la capacité de se rétablir après des événements d'érosion majeurs (O'Carroll *et al.*, 2006; Ollerhead *et al.*, 2006), alors qu'une falaise ou un escarpement ne peut que reculer. Les matériaux érodés jouent un rôle important dans l'apport de sédiments au reste du système côtier au sein d'une cellule littorale (voir le chapitre 2).

TABLEAU 2 : Exemples de taux de recul historique des escarpements et falaises dans toute la région de la côte Est. Ces taux peuvent ne pas être directement comparables en raison de différences au niveau des méthodologies et des types de mesures utilisés.

Lieu	Taux de recul	Période	Référence
Québec — Escarpements meubles, côte du golfe du Saint-Laurent	Jusqu'à 3,45 m/an	Diverses	(Bernatchez et Dubois, 2004)
Nouveau-Brunswick — Escarpements de till, détroit de Northumberland	0,26 m/an (moyenne)	1944 à 2001	(O'Carroll <i>et al.</i> , 2006)
Île-du-Prince-Édouard — Grès et till, île entière	0,28 m/an (moyenne)	1968 à 2010	(Webster, 2012)
Île-du-Prince-Édouard — Escarpements de till, côte du golfe du Saint-Laurent	Jusqu'à 2,24 m/an	1935 à 1990	(Forbes et Manson, 2002)
Île-du-Prince-Édouard — Escarpements de till, côte du détroit de Northumberland	0,74 m/an (moyenne)	1935 à 2000	(O'Carroll, 2010a)
Terre-Neuve-et-Labrador — Escarpements meubles, nord-est de la presqu'île Avalon	0,1 à 0,3 m/an	Indéterminée	(Catto, 2011)
Nouvelle-Écosse — Drumlin de till, cap Breton	1,38 m/an (moyenne)	2000 à 2007	(Force, 2012)
Nouvelle-Écosse — Escarpement de till, lacs Bras d'Or	0,33 m/an (moyenne)	1939 à 2014	(O'Carroll, 2015)
Nouvelle-Écosse — Substratum de basalte et de grès, baie de Fundy	0,06 à 0,8 m/an	Indéterminée	(Desplanque et Mossman, 2004)
Nouvelle-Écosse — Drumlin de till, côte du golfe du Saint-Laurent	0,27 à 0,85 m/an	1939 à 2007	(Utting et Gallacher, 2009)
Nouvelle-Écosse — Escarpement de till, côte du détroit de Northumberland	0,4 m/an (moyenne)	1964 à 2005	(Finck, 2007)

TABLEAU 3 : Taux d'érosion variables en fonction de la géographie et du relief côtiers au Nouveau-Brunswick. L'érosion côtière est systématiquement surveillée dans la province depuis 45 ans (ministère de l'Énergie et des Mines du Nouveau-Brunswick, 2015). Abréviation : N/D, non disponible.

Relief	Chaleur (m/an)	Nord-Est (m/an)	Northumberland (m/an)	Tout le Nouveau-Brunswick (m/an)
Falaise	0,18	1,17	0,26	0,26
Dune	0,35	1,20	0,85	0,80
Plage	0,32	1,01	1,00	0,76
Marais salé	0,17	N/D	0,30	0,28

Les activités humaines comme la protection des côtes (p. ex. Finck, 2012), l'extraction de sédiments (p. ex. Hunter, 1975; Taylor et Frobél, 2009) et la construction de barrages (p. ex. van Proosdij *et al.*, 2009), interagissent avec les facteurs naturels pour bouleverser les processus d'apport en sédiments et de dynamique des côtes. Par exemple, une étude des cordons littoraux et des plages à l'embouchure de la baie Ingonish Sud et l'anse Black Brook, en Nouvelle-Écosse, a démontré que l'accumulation saisonnière du sable engendrait des fluctuations de l'ordre de 10 à 20 m dans la largeur de la plage à ces deux endroits. Toutefois, la capacité des

zones d'arrière-plage de se réparer elles-mêmes variait considérablement (Tibbetts et van Proosdij, 2013). Sur la plage Ingonish, il a fallu environ 6 à 10 ans pour rétablir l'élévation de la crête alors que certains sites des zones d'arrière-plage creusés et abaissés par l'activité humaine ne s'étaient toujours pas rétablis après 26 ans (Taylor et Frobél, 2009). La relation complexe entre le climat, la dynamique des côtes et l'activité humaine constitue un défi majeur en ce qui a trait à la prévision des changements futurs au niveau de la géomorphologie côtière (étude de cas 2 et voir le chapitre 2).

ÉTUDE DE CAS 2

INTERACTIONS ENTRE LES ASPECTS PHYSIQUES, BIOLOGIQUES ET HUMAINS DE LA DYNAMIQUE DES CÔTES À MIDDLE COVE (T.-N.-L.)

Afin de mieux évaluer la vulnérabilité d'une collectivité ou d'un site côtier, une étude de base décrivant les liens entre les aspects physiques, biologiques et humains doit être réalisée. La plage de Middle Cove, située à environ 15 km au nord de St. John's, à Terre-Neuve-et-Labrador, est une frayère de premier choix pour le capelan (sites de « roulade » du capelan) et est également un lieu touristique populaire pendant l'été. L'embouchure de l'anse et la plage ont été caractérisées comme étant extrêmement sensibles à l'érosion par Catto et Catto (2014) en raison de la physiographie de la côte, du fait que l'anse est orientée dans l'axe nord à nord-est des ondes de tempête, de la fréquence des tempêtes (en particulier depuis 2001), des effets documentés de l'activité orageuse depuis 1989 et de l'absence générale de glace de mer et d'un mince manteau neigeux.

Les caractéristiques physiques de la plage de Middle Cove (une plage battue par des vagues modérées et composée de cailloux de taille moyenne à grossière, relativement bien arrondis) en font une frayère idéale pour le capelan (*Mallotus villosus*; Catto et Catto, 2014). Middle Cove est également l'une des plages les plus fréquentées de la presqu'île Avalon. Lors des journées et des soirées chaudes d'été, et pendant la saison de « roulade » du capelan, on peut trouver plus de 150 personnes sur la plage de Middle Cove. Cette pression exercée par les visiteurs se traduit par un aplatissage graduel des parties supérieures de la plage, ce qui en modifie le profil, détruit les rides ou en restreint le développement et entraîne le compactage des sédiments.

Le profil de la plage de Middle Cove, à l'instar de celui de la plupart des plages, change d'une saison à l'autre et s'ajuste aux conditions côtières. Les mois d'hiver revêtent une importance particulière, en raison du fait que la présence d'un manteau neigeux ou d'un pied de glace empêche les vagues d'atteindre la partie supérieure de la plage et engendre un profil de plage convexe. Lors des hivers sans pied de glace, le profil devient concave (Catto et Catto, 2014). Un profil de plage plus abrupt, provoqué par des tempêtes successives ou par l'absence de la protection d'un pied de glace hivernal, se traduit par une plage constituée de matériaux plus grossiers qui sont moins favorables à la fraie du capelan. Les températures futures plus chaudes de l'air et de l'eau prévues à l'avenir nuiront encore davantage au développement d'un pied de glace hivernal (qui n'a pas été important depuis le début des années 2000), alors que l'élévation du niveau relatif de la mer pourrait rendre la partie supérieure de la plage plus susceptible à l'affouillement et à l'amincissement. Cela rendra la plage encore moins favorable à la fraie du capelan pendant la saison de la « roulade » et pourrait également avoir des conséquences économiques et culturelles.

4 CHANGEMENTS DANS LES PROCESSUS BIOLOGIQUES ET LES ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS

Des écosystèmes côtiers sains fournissent un éventail de services écologiques essentiels au bien-être des collectivités côtières. Il est important d'améliorer et de maintenir la résilience des écosystèmes, tant du point de vue écologique que du point de vue socioéconomique. Les écosystèmes côtiers se trouvent intégrés aussi bien au sein du milieu terrestre que du milieu marin; c'est ainsi qu'ils échangent des nutriments précieux pour le fonctionnement général de l'écosystème et servent d'habitats à des espèces à différentes étapes de leur cycle de vie. Des avantages économiques directs découlent d'un éventail d'activités traditionnelles et commerciales, y compris la pêche, la récolte de mollusques et crustacés et le tourisme. En outre, les écosystèmes comme les terres humides, les dunes côtières, les flèches et les îles barrières améliorent la durabilité de l'environnement bâti en faisant fonction de zones tampon dont l'objet est d'offrir une protection contre les vagues et les tempêtes violentes (p. ex. Duarte et al., 2013).

Ensemble, les changements climatiques et les pressions découlant de l'activité anthropique ont entraîné, et continueront d'entraîner, des modifications aux habitats côtiers, altérant la répartition et la dynamique des espèces et modifiant et/ou entravant la structure et la fonction des écosystèmes (Day et al., 2008; Rabalais et al., 2009; Michel et Pandya, 2010; Rabalais et al., 2010).

Les sections suivantes examinent les répercussions écologiques des changements dans le climat océanique (température, hypoxie, acidification et salinité de la mer), de même que l'interaction entre le climat et les activités humaines ayant une incidence sur les ressources aquatiques et la dynamique des écosystèmes.

4.1 RÉPERCUSSIONS DES CHANGEMENTS DANS LA TEMPÉRATURE DE LA MER

La température de la mer a des répercussions sur un éventail de processus biologiques (p. ex. processus métaboliques et taux de croissance) de même que sur la répartition et l'abondance des espèces (p. ex. Hoegh-Guldberg et Bruno, 2010; Pankhurst et Munday, 2011). La productivité primaire générale de l'océan est en déclin depuis le début des années 1980, ce déclin étant en majeure partie lié à la température accrue de la surface de la mer dans les latitudes élevées et boréales (Gregg et al., 2003; Hoegh-Guldberg et Bruno, 2010; Nye, 2010).

La productivité primaire dans la région de la côte Est est également touchée par l'importance et la durée de la couverture de glace de mer. Dans le golfe du Saint-Laurent, la glace de mer hivernale contribue aux processus de convection de l'eau, un important facteur de production primaire du phytoplancton (Le Fouest et al., 2005; Dufour et Ouellet, 2007). Lorsque la glace de mer se forme, elle libère le sel de l'eau sous la forme d'une saumure plus dense qui sombre. Cela déplace les eaux plus profondes, riches en nutriments et moins denses, vers la surface, provoquant ainsi une remontée d'eau et un apport de nutriments

aux producteurs primaires. La fonte de la glace de mer joue également un rôle majeur dans le déclenchement de la prolifération de végétaux planctoniques (Hoegh-Guldberg et Bruno, 2010). La fin probable de la formation de glace de mer dans le golfe du Saint-Laurent au cours du présent siècle aura une incidence sur l'abondance, le moment et la répartition du phytoplancton et modifiera les fonctions de production primaire dans ce bassin marin partiellement enfermé (Dufour et Ouellet, 2007).

La glace joue en outre un rôle important dans la redistribution et la colonisation des graines et des rhizomes de spartine (*Spartina alterniflora*) des marais salés dans la région de la côte Est (van Proosdij et Townsend, 2006), et apporte une importante contribution au budget sédimentaire des hauts marais (Dionne, 1985, 1989; Troude et Sérodes, 1988; Drapeau, 1992; van Proosdij et al., 2006). La glace dans les bas-fonds intertidaux joue également un rôle important au niveau de la dispersion des macro-invertébrés et de la dynamique des populations d'une même espèce qui se trouvent géographiquement séparées (Drolet et al., 2012).

De légers changements dans la température moyenne de l'eau de mer ont été associés à des changements dans l'abondance et la répartition de la végétation côtière, des poissons et des mollusques et crustacés (Burkett et Davidson, 2012). Pour les poissons comme le saumon et l'anguille, qui utilisent des habitats côtiers (ruisseaux de marais salés, estuaires et rivières) à certains moments de leur cycle de vie, les changements induits par la température auront d'importants effets sur certaines des étapes de leur vie et sur leur croissance (Todd et al., 2008). La fraie est particulièrement préoccupante, puisque de légères augmentations de la température de l'eau peuvent réduire le taux de survie en ayant des répercussions au niveau de la mortalité et de l'éclosion des œufs (Pankhurst et Munday, 2011). L'augmentation de la température estivale maximale de l'eau a été un facteur important dans la disparition de la zostère marine (*Zostera*) le long de la baie de Chesapeake (côte est des États-Unis), près de la limite australe de l'aire de répartition de cette espèce (Burkett et Davidson, 2012). L'état des herbiers de zostère est également préoccupant dans la région de la côte Est du Canada, puisqu'ils sont considérés comme un des principaux indicateurs de la santé générale de l'écosystème côtier.

Les espèces envahissantes posent aussi des problèmes aux écosystèmes associés à l'augmentation de la température de l'eau, et peuvent avoir une incidence sur les individus, la génétique des espèces, la population et la dynamique communautaire de même que sur les processus écosystémiques (Rockwell et al., 2009). Ces impacts peuvent se manifester localement ou être ressentis de manière plus générale dans la région (MPO, 2012a). Les espèces exotiques envahissantes peuvent perturber les réseaux trophiques, entraînant une diminution de la productivité pour les espèces comme l'huître et la zostère, qui sont importantes pour le maintien de la structure des écosystèmes et habitats côtiers (Rockwell et al., 2009). Certaines études attribuent un déclin marqué de la santé de la zostère en Nouvelle-Écosse à une augmentation du nombre d'espèces envahissantes comme le crabe européen (*Carcinus maenas*; Garbary et al., 2014). Toutefois, les preuves empiriques de l'effet des changements climatiques sur la zostère et les espèces envahissantes comme le crabe européen demeurent limitées. Bon nombre des espèces exotiques envahissantes ayant déjà pénétré les eaux marines de la région de la côte Est sont des

tuniciers (filtreurs) qui s'attachent aux rocs ou à d'autres surfaces du fond marin. L'industrie de la culture des mollusques (p. ex. moule, huître) est particulièrement vulnérable à l'invasion par les espèces exotiques de tuniciers, qui peuvent former d'importantes colonies sur les coquilles cultivées (Klassen, 2013).

L'ascidie plissée (*Styela clava*), observée dans le golfe du Saint-Laurent et au large de l'Île-du-Prince-Édouard, le diplosome (*Diplosoma listerianum*), observé dans l'Est du Canada, et l'ascidie sale (*Ascidella aspersa*), observée au large des côtes de la Nouvelle-Écosse, en sont des exemples.

4.2 HYPOXIE

L'hypoxie (également appelée « zone morte ») peut découler de l'eutrophisation des eaux côtières par surcharge de nutriments (c.-à-d. azote, phosphore, silicium et matière organique), ce qui entraîne l'épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau. L'hypoxie peut entraîner la mort des poissons et des pertes dues à la mortalité chez d'autres espèces, modifier le développement physiologique et la croissance (y compris des anomalies de la reproduction), modifier les habitudes migratoires, entraîner la perte d'habitat pour les poissons des grandes profondeurs et d'autres espèces fauniques benthiques et entraîner la compression de l'habitat des poissons pélagiques. Ces modifications des conditions entraînent une réduction des stocks de poissons, y compris les stocks de poissons à nageoires et de crustacés d'importance économique (Rabalais et al., 2010).

L'hypoxie peut également être liée à la circulation à grande échelle de l'eau des océans. Les données historiques révèlent que l'hypoxie s'aggrave graduellement dans les eaux profondes du golfe du Saint-Laurent, en particulier aux embouchures des chenaux Laurentien, Esquiman et d'Anticosti (figure 8; MPO, 2010). Les niveaux d'oxygène dans ces régions ont diminué depuis 1932 par suite d'un apport accru en eau chaude et pauvre en oxygène de l'Atlantique Nord et à un apport moindre d'eau froide riche en oxygène du courant du Labrador (MPO, 2012a). Les conditions hypoxiques repoussent beaucoup d'espèces de poissons, de mollusques et de crustacés qui ne peuvent pas survivre dans des conditions pauvres en oxygène. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, 5 % des morues (*Gadus morhua*) mises à l'essai sont mortes en moins de 96 heures d'exposition à une saturation de 28 %, alors que la moitié des poissons sont morts en moins de 96 heures lorsqu'exposés à une saturation de 21 % (MPO, 2012a). La morue évite presque complètement les zones de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent où les niveaux d'oxygène dissous dans l'eau près du fond sont inférieurs à 30 % de saturation (MPO, 2012a).

À mesure que la température de l'eau de surface augmente en raison des changements climatiques, il est probable que la stratification de l'eau se renforcera, ce qui aggravera l'hypoxie là où elle existe actuellement et encouragera son apparition ailleurs. Dans les régions recevant davantage de précipitations, l'augmentation de l'apport en eau douce pourrait entraîner un écoulement accru des nutriments dans les eaux côtières. L'effet cumulatif de l'augmentation de la concentration de nutriments et de l'accroissement de la stratification de la colonne d'eau aggraveront et accéléreront les conditions d'hypoxie (Global Environment Facility Scientific and technical Advisory Panel, 2011).

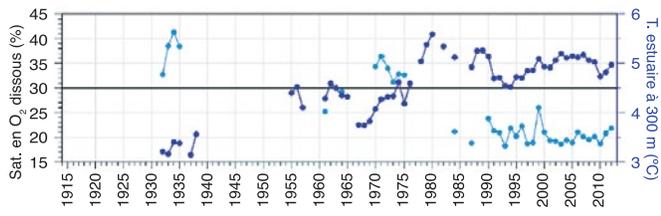


FIGURE 8 : Saturation en oxygène dissous (Sat. en O₂ : carrés bleu foncé) et température (T : points bleu clair) entre 295 m et le fond du bassin profond central de l'estuaire du Saint-Laurent; une saturation de 30 % marque le seuil des conditions d'hypoxie (MPO, 2010).

4.3 ACIDIFICATION

L'acidification croissante des océans à l'échelle mondiale est une des grandes constatations du Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC, 2013). Les effets de l'acidification sont les suivants (Pörtner *et al.*, 2014) :

- dissolution des coraux et des exosquelettes de carbonate
- changements au niveau de la productivité des invertébrés benthiques et des poissons
- croissance accrue de certains varechs et certaines algues de mer
- changements dans la composition et la dominance des espèces
- impacts sociétaux et économiques
- autres impacts potentiels qui demeurent inconnus pour l'instant.

Dans la région de la côte Est, la surveillance dans le golfe du Saint-Laurent indique qu'il n'y a eu aucun changement important dans le pH des eaux de surface depuis 1934 (MPO, 2012a). Dans l'estuaire du Saint-Laurent, les eaux se trouvant à plus de 100 m de profondeur s'acidifient plus rapidement que les eaux de surface en raison de processus *in situ*; cette tendance n'est pas directement liée aux émissions accrues de gaz à effet de serre (Scarratt et Starr, 2012). Dans la région de la plate-forme Néo-Écossaise, le pH a diminué d'environ 0,1 à 0,2 unité depuis le début des années 1930 (Stewart et White, 2001).

Beaucoup d'espèces de mollusques et de crustacés d'importance commerciale sont récoltées en Nouvelle-Écosse, comme le homard américain (*Homarus americanus*) et le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*), et un grand nombre d'espèces d'aquaculture, comme la moule bleue (*Mytilus edulis*), l'huître américaine (*Crassostrea virginica*) et la palourde américaine (*Mercenaria mercenaria*), sont vulnérables à l'acidification pendant la fertilisation, le clivage, la fixation des larves et la reproduction (Curren et Azetsu-Scott, 2013).

4.4 SALINITÉ

Des données historiques de la salinité des océans pour certains secteurs de la région de la côte Est depuis la fin des années 1940 sont disponibles, ce qui permet de calculer la variabilité décennale. Depuis les années 1960, par exemple, la région de la plate-forme Néo-Écossaise alterne entre des périodes d'eau douce et froide (décennies 1960, 1980 et 1990) et des périodes d'eau chaude plus saline (décennies 1970 et 2000; Breeze *et al.*, 2002). Les salinités de surface

moyennes pour la décennie 1990 dans le golfe du Saint-Laurent, sur la plate-forme Néo-Écossaise et dans la baie de Fundy étaient les plus faibles jamais enregistrées (Drinkwater et Gilbert, 2004).

De récentes études ont révélé une autre diminution du degré de salinité (adoucissement de l'eau) au large de la côte de la Nouvelle-Écosse (plate-forme Néo-Écossaise et golfe du Maine; Drinkwater et Gilbert, 2004; Greene *et al.*, 2008), qui pourrait découler de la fonte de la glace de mer arctique. À mesure que la glace de mer arctique continuera de fondre à l'avenir, les arrivées d'eau douce qui en découleront augmenteront la force du courant du Labrador, qui s'écoule vers le sud, et réduiront le degré de salinité de la surface de la mer. Cela pourrait entraîner des changements biogéographiques chez certaines espèces, comme on l'a remarqué dans le cas du plancton boréal *Neodenticula seminae*, qui se retrouve maintenant communément dans la flore de l'Atlantique Nord (Greene *et al.*, 2008). D'après les profils sédimentaires, cette espèce de plancton du Pacifique ne s'était pas manifestée dans la région de la côte Est depuis 800 000 ans (Nye, 2010).

Dans le contexte des changements climatiques, on prévoit que l'oscillation nord-atlantique (NAO; voir le chapitre 2) sera principalement en phase positive, de sorte que les eaux plus chaudes du Gulf Stream seront déplacées vers le nord et la quantité d'eau froide transportée par le courant du Labrador sera plus considérable (Frumhoff *et al.*, 2007). Une diminution prévue du débit annuel du bassin des Grands Lacs aura également une incidence sur la circulation et la salinité dans le golfe du Saint-Laurent (Dufour et Ouellet, 2007).

Les organismes peuvent réagir de plusieurs manières à ces changements de température et de salinité, mais la modification de la répartition spatiale est la première réaction hypothétique (Nye, 2010). Les réactions des écosystèmes naturels seront probablement non linéaires, de sorte que le changement peut ne pas se produire avant qu'un certain seuil soit atteint, moment auquel on peut s'attendre à des transitions rapides et impressionnantes (Dufour et Ouellet, 2007).

4.5 QUALITÉ DE L'EAU

La qualité de l'eau des côtes a un effet sur de nombreux paramètres régissant la santé et le fonctionnement généraux des écosystèmes marins (Burbridge, 2012). L'augmentation du taux de précipitations dans certaines régions pourrait nuire à la qualité de l'eau. Par exemple, les fortes précipitations peuvent poser des problèmes pour l'infrastructure d'eau, puisque les systèmes d'égouts et les usines de traitement de l'eau ne sont plus en mesure d'accommoder le volume d'eau accru. Les pluies diluviennes peuvent également accroître le ruissellement dans les rivières et les lacs, entraînant des sédiments, des nutriments, des polluants, des déchets, des déchets animaux et d'autres matières dans les réserves d'eau, ce qui les rend inutilisables ou non sécuritaires ou exige un traitement supplémentaire de l'eau.

Dans la région de la côte Est, il n'y a eu aucune surveillance systématique de la qualité de l'eau des côtes qui permettrait d'effectuer une analyse spatiale ou temporelle de la qualité de l'eau des côtes (Burbridge, 2012) et d'établir des liens possibles avec les changements climatiques par opposition à d'autres activités humaines. À l'exception des données requises pour déterminer les niveaux sécuritaires de contaminants précis trouvés dans les poissons, les mollusques et les crustacés et les produits du

poisson (Stewart et White, 2001; Simms, 2002), la qualité de l'eau dans les milieux côtiers sublittoraux demeure en grande partie inconnue (Mercer Clarke, 2010). Les concentrations de contaminants dans l'eau, les sédiments et/ou les biotes ont été mesurées dans de nombreux ports et estuaires provinciaux ainsi que dans les eaux libres de la plate-forme Néo-Écossaise, de la baie de Fundy et du golfe du Saint-Laurent. Pour la plupart des sites d'échantillonnage en eau libre, les concentrations de contaminants sont faibles (c.-à-d. équivalentes aux concentrations naturelles ou proches de celles-ci) et il y a peu de signes, sinon aucun, que des préjudices environnementaux peuvent être attribués aux contaminants (CBCL Limited, 2009). La contamination a été documentée dans des sites proches de centres urbains et industrialisés comme le port d'Halifax et le port de Sydney, le détroit de Canso et la baie de Clam Harbour, en Nouvelle-Écosse, et la région de Belledune au Nouveau-Brunswick.

4.6 INTRUSION D'EAU SALÉE

L'intrusion d'eau salée est l'infiltration et le mélange d'eau salée dans l'eau douce stockée dans les pores et les fractures du sol sous-jacent et du substratum rocheux des terres côtières. L'interface eau de mer-eau douce est naturellement dynamique et fluctue en fonction des changements s'opérant au niveau des processus de recharge et de captage et le niveau de la mer. Le déplacement de l'eau douce par l'eau de mer se produit lorsque l'eau de mer recouvre les terres par suite d'une élévation du niveau de la mer, d'une onde de tempête, de l'érosion des côtes ou de périodes de sécheresse prolongées (Phan, 2011; Loaiciga et al., 2012).

On s'attend à ce que l'intrusion d'eau salée devienne un problème plus important du fait des changements climatiques, même si la demande accrue pour les ressources en eaux souterraines s'avérera un moteur plus important que l'élévation du niveau de la mer. Les étés plus chauds entraîneront probablement un captage accru des eaux souterraines (Government of Prince Edward Island, 2011), en particulier s'ils sont associés à une demande accrue de la part des touristes. Même si l'élévation du niveau de la mer accroît le risque d'intrusion d'eau de mer et de contamination des puits, on comprend mal l'ampleur de cette augmentation (Chang et al., 2011). Les inondations côtières accrues associées à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête pourraient contaminer les puits d'eau potable par de l'eau salée.

Une grande proportion de la population de la région de la côte Est (près de 100 % dans le cas de l'Île-du-Prince-Édouard et des îles de la Madeleine) compte sur les eaux souterraines pour s'approvisionner en eau potable (Rivard et al., 2008). Des exemples d'impacts sur les eaux souterraines associés à des facteurs naturels et/ou humains ont été notés dans chacune des provinces de la région de la côte Est :

- **Nouveau-Brunswick** : Shippagan et Richibucto (en raison d'un surpompage; MacQuarrie et al., 2012); beaucoup de puits privés sont contaminés par de l'eau de mer de manière intermittente lors des ondes de tempête à Le Goulet.
- **Nouvelle-Écosse** : Upper Lawrencetown et Pictou (en raison du développement et de la demande accrue en eaux souterraines); Pugwash et Wolfville (Ferguson et Beebe, 2012).
- **Île-du-Prince-Édouard** : Summerside (en raison d'un surpom-

page; Hansen, 2012); York Point et Souris West (en raison d'une intrusion d'eau salée naturelle); l'Île-du-Prince-Édouard est particulièrement vulnérable à l'intrusion d'eau salée en raison de sa géographie et de sa dépendance à l'égard des eaux souterraines pour son approvisionnement en eau potable (Barlow et Reichard, 2010).

- **Terre-Neuve-et-Labrador** : l'intrusion d'eau salée est bien documentée à L'Anse-aux-Meadows (N. Catto, communication personnelle, 2014); l'importance de l'intrusion d'eau salée à l'échelle provinciale ne peut pas être confirmée (Adams, 2011).
- **Québec** : il n'y a aucune intrusion d'eau salée documentée, mais il existe des cônes de dépression d'eau salée sous certains puits des îles de la Madeleine et on a signalé une migration de l'interface avec l'eau salée pour l'île du Cap aux Meules aux îles de la Madeleine (Chaillou et al., 2012a, b); l'archipel des îles de la Madeleine dépend exclusivement des eaux souterraines pour son approvisionnement en eau et est très vulnérable au surpompage, en particulier en été, alors que la présence des visiteurs double la population locale.

4.7 EFFETS SUR LES ÉCOSYSTÈMES

Les changements dans les conditions environnementales entraînent souvent un changement dans la répartition spatiale des espèces et des écosystèmes (Walther et al., 2002; Parmesan et Yohe, 2003). Par exemple, lorsque l'eau se réchauffe, les populations d'organismes marins mobiles peuvent se déplacer dans l'espace à mesure que la superficie d'habitats convenables change (section 4.1). C'est apparemment ce qui s'est produit dans le cas de certaines espèces de poissons de la région de la côte Est à la fin des années 1980 et au début des années 1990, lorsque la morue du Nord et le capelan ont été détectés dans le nord-ouest de l'Atlantique (Rose et al., 2000). Une étude des stocks de poissons au large des côtes d'Amérique du Nord a démontré que 72 % des espèces de poissons avaient déplacé leur centre de biomasse général vers le nord et avaient accru la profondeur moyenne à laquelle ils étaient présents pendant la période de 1968 à 2007 (Cheung et al., 2011). La température à laquelle ces espèces ont été trouvées au cours de ces 40 années n'a pas changé (Nye, 2010), ce qui semble indiquer que les poissons se maintiennent dans la plage de température ambiante qu'ils préfèrent en se déplaçant vers des latitudes plus élevées ou vers des eaux plus profondes. On prévoit que les aires de répartition de certaines espèces du nord-est de l'Atlantique se déplaceront vers le nord au rythme moyen de quelque 40 km par décennie (Cheung et al., 2009). Les prévisions en matière de changements dans la répartition des espèces par suite des changements climatiques pour le golfe du Saint-Laurent et les côtes atlantiques semblent indiquer qu'il pourrait y avoir un important renouvellement des espèces (c.-à-d. beaucoup de pertes et beaucoup de gains; Cheung et al., 2011). Les différentes réactions des espèces aux changements climatiques entraîneront probablement des déséquilibres trophiques et/ou des perturbations dans les relations proie-prédateur, brisant ainsi l'équilibre écologique et entraînant une réorganisation de la communauté (Walther et al., 2002; Beaugrand et al., 2003; Edwards et Richardson, 2004; Collie et al., 2008).

TABLEAU 4 : Impacts prévus des changements climatiques liés à l'élévation du niveau de la mer et à la modification des trajectoires de tempêtes sur les habitats côtiers de la région de la côte Est (tiré de Nye, 2010).

Élément côtier	Impacts
Plages	Ajustements morphologiques à grande échelle afin d'absorber l'énergie des vagues, entre autres : <ul style="list-style-type: none"> ▪ submersion et érosion ▪ formation potentielle de nouvelles plages en aval des zones d'érosion ▪ migration vers les terres des cordons littoraux
Marais salés	Inondations par la marée plus fréquentes Sédimentation et migration possible vers les terres au même rythme que l'élévation du niveau de la mer, selon les réserves de sédiments et de matière organique Érosion accrue du bord de la marge (van Proosdij <i>et al.</i> , 2006) Changements au niveau du stockage du carbone (Chmura, 2011)
Marais d'eau douce	Se transforment graduellement en marais salés ou se déplacent vers l'intérieur des terres
Estuaires et rivières à marées	Augmentation du volume et du passage naturel de l'eau des marées Pénétration accrue de l'eau salée
Falaises meubles	Accélération de l'érosion
Espèces et écosystèmes	Modification des habitats côtiers Menace à la viabilité découlant des changements apportés à de nombreux facteurs, notamment la température de l'eau, la salinité, les schémas de la glace de mer, le ruissellement et la qualité de l'eau

Le tableau 4 présente les principaux effets prévus de l'élévation du niveau de la mer et de la modification des trajectoires de tempêtes sur les habitats dans la région de la côte Est. Dans les zones intertidales, l'augmentation de la température touchera différentes composantes de l'écosystème des plages. Pour de nombreuses espèces des plages, l'expansion de l'aire de répartition sera un facteur limitatif en raison de l'absence de capacité de dispersion au stade larvaire (crustacés pécararides), alors que les changements dans les communautés planctoniques auront également des répercussions au niveau de la macrofaune des plages (c.-à-d. les pécararides et les insectes; Defeo *et al.*, 2009).

4.8 MIGRATION DES ÉCOSYSTÈMES ET COMPRESSION CÔTIÈRE

Les écosystèmes côtiers s'ajustent de manière dynamique aux changements dans le niveau de la mer. Les observations sur le terrain, y compris sur les souches et les racines in situ, de même que les couches de tourbe d'eau douce exposées à marée basse ou après les tempêtes en plusieurs endroits (figure 9), témoignent de la migration des écosystèmes côtiers en raison de l'élévation du niveau relatif de la mer au cours des 6 000 dernières années (p. ex. Garneau, 1998; Quintin, 2010).

Les plages, les dunes, les flèches sablonneuses, les îles barrières et les marais côtiers qui s'y rattachent peuvent s'ajuster à l'élévation du niveau de la mer en poursuivant leur migration vers l'intérieur des terres (Davidson-Arnott, 2005). Dans les environnements sablonneux, la migration vers l'intérieur des terres se fait par débordement (les vagues surmontent une crête de plage sans l'éroder, ajoutant ainsi graduellement des sédiments à la crête), par rupture et submersion (les vagues surmontent et érodent la crête de plage, déposant les sédiments plus loin à l'intérieur des terres), par formation d'un goulet de marée (entraînant la formation de deltas de marée) et par l'action du vent (les forts vents du large transportent du sable vers l'arrière-dune et dans le marais ou le lagon; Taylor *et al.*, 2008; Jolicoeur *et al.*, 2010; Mathew *et al.*, 2010;



FIGURE 9 : Photos de souches d'arbres in situ mises à découvert lors d'une marée basse ou d'une tempête. Photos **a)** et **b)** démontrent des souches d'arbres et des racines mises à nu par l'érosion et **c)** démontre des souches d'arbres recouvertes par l'élévation du niveau d'eau. Endroits des photos: a) Le Goulet, N.-B.; b) Barachois, N.-B.; et c) Lacs Bras d'Or, N.-É. Photos a) et b), gracieuseté de D. Bérubé, Ministère de l'Énergie et des Mines du Nouveau-Brunswick, photo c), gracieuseté de S. O'Carroll, Geo Littoral Consultants.

Stéphan *et al.*, 2010; Ollerhead *et al.*, 2013). Ce processus, fortement lié aux tempêtes, permet aux éléments sablonneux de se déplacer vers les terres et de s'ajuster verticalement à l'élévation du niveau de la mer. Toutefois, les taux élevés d'élévation du niveau relatif de la mer peuvent entraîner l'engloutissement des reliefs côtiers (O'Carroll *et al.*, 2006; Kelley *et al.*, 2013).

Dans les marais côtiers, la matière fine mise en place et/ou la matière organique produite dans le marais en élève la surface, la maintenant dans la même position par rapport au niveau de la mer (Allen, 2000). Graduellement, il y a une transition des communautés végétales de bas marais à des communautés végétales de haut marais et, dans une situation de conditions idéales, le marais se déplace vers l'intérieur des terres. Encore une fois, si le niveau de la mer s'élève plus rapidement que ne se produit l'apport en sédiments, les marais peuvent être inondés et remplacés par de l'eau libre, comme on l'a constaté dans le sud-est du Nouveau-Brunswick entre 1944 et 2001 (Hanson *et al.*, 2006). Les changements dans la réserve de sédiments porteront également atteinte à la survie des marais. Kirwan et Megonigal (2013) ont démontré que, dans une situation d'élévation du niveau de la mer modérément rapide, un marais stable sous des charges de sédiments historiques serait inondé si la charge de sédiments se trouvait à être diminuée. Cela semble indiquer que la construction de barrages et la construction terrestre entraînant une réduction de la charge de sédiments pourraient rendre les marais moins stables à l'avenir, même si l'élévation du niveau de la mer se poursuivait au même rythme.

Les marais qui se sont formés dans les zones de grande amplitude de marée et de grande disponibilité de sédiments sont généralement considérés comme plus résilients à l'élévation du niveau de la mer que ceux qui se sont formés dans des régions de faible amplitude de marée et de faible disponibilité de sédiments (Chmura *et al.*, 2001; Paskoff *et al.*, 2011; Bowron *et al.*, 2012). Dans la région de la côte Est, les taux historiques d'alluvionnement des marais salés varient de 1,3 mm/an le long de la côte du détroit de Northumberland au Nouveau-Brunswick à 4,4 mm/an dans la partie supérieure de la baie de Fundy (Chmura *et al.*, 2001; Davidson-Arnott *et al.*, 2002; van Proosdij *et al.*, 2006; Bowron *et al.*, 2012). Le long de l'estuaire du Saint-Laurent, les taux moyens d'accrétion verticale varient de 1 à 2 mm/an, et atteignent jusqu'à 3 mm/an dans environ 10 % des cas (Dionne, 2004).

Les taux d'accrétion verticale peuvent s'ajuster aux changements dans le rythme de l'élévation du niveau relatif de la mer (Kirwan *et al.*, 2010). Même si le caractère cyclique de l'érosion du bord et de la progradation fait partie de l'évolution naturelle des marais à l'échelle décennale (Allen, 2000; Ollerhead *et al.*, 2006; van Proosdij *et al.*, 2006; van Proosdij et Baker, 2007; Allen et Haslett 2014), les marais se déplaceront vers l'intérieur des terres s'il y a de l'espace pour eux. Toutefois, le recul ne peut pas se produire lorsque les pentes naturelles derrière les marais sont trop abruptes ou lorsque le chemin est bloqué par des structures comme des routes, des ouvrages longitudinaux, des digues ou des bâtiments, créant une situation à laquelle on a donnée le nom de « compression côtière » (figure 10; Doody, 2013; Pontee, 2013; Torio et Chmura, 2013).

Le phénomène de la compression côtière n'est pas exclusif aux marais côtiers, mais peut également s'appliquer à d'autres

types d'écosystèmes côtiers (p. ex. plages, dunes) et comprend les contraintes naturelles comme des falaises, susceptibles de limiter la migration vers l'intérieur des terres (figure 10c; Sterr, 2008; Jackson et McIlvenny, 2011; Doody, 2013; Hapke *et al.*, 2013). Dans la région de la côte Est, des études menées dans la baie des Chaleurs au Nouveau-Brunswick (Bernatchez et Fraser, 2012) et aux îles de la Madeleine au Québec (Jolicoeur et O'Carroll, 2007) ont démontré que la présence d'infrastructures humaines provoque la perte d'habitats côtiers. Dans la baie de Kamouraska, au Québec, les digues construites pour convertir des marais en terres agricoles compressent la zone intertidale à mesure que le niveau de la mer s'élève. La mise en valeur accrue de la zone côtière dans toute la région accroît la compression côtière et pourrait entraîner la perte de dunes, de plages et de marais précieux au cours des décennies à venir (Jolicoeur et O'Carroll, 2007; Craft *et al.*, 2009; Bernatchez *et al.*, 2010; Feagin *et al.*, 2010; Doody, 2013; Torio et Chmura, 2013; Cooper et Pile, 2014).

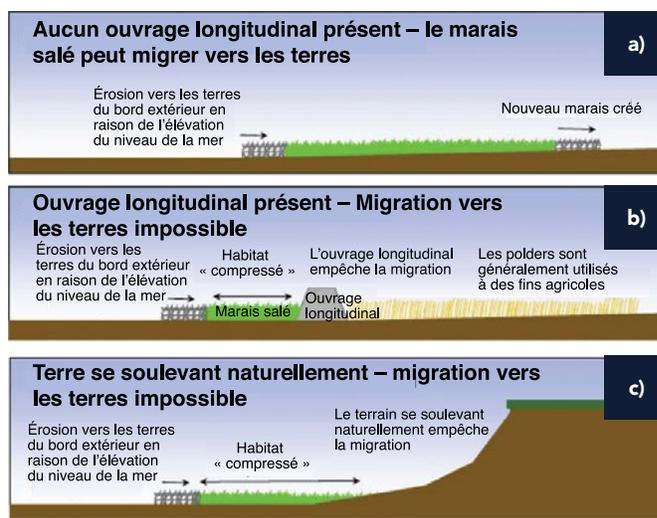


FIGURE 10 : Diagrammes de la migration vers l'intérieur des terres et de la migration vers l'intérieur des terres empêchée d'un marais salé qui a été érodé par l'élévation du niveau de la mer : a) la migration vers l'intérieur des terres se produit naturellement; b) la migration est empêchée par un ouvrage longitudinal résultant en la «compression» de l'habitat; et c) la migration est empêchée par une élévation de terre naturelle résultant en la «compression» de l'habitat (Pontee, 2013 tiré de Doody, 2013).

4.9 IMPACTS DES MODIFICATIONS HUMAINES SUR LA CÔTE

Les activités humaines entraînant des changements dans l'utilisation des terres, les cours d'eau et les rivages ont déjà eu des répercussions sur le ruissellement des nutriments et des contaminants, sur la gestion des eaux pluviales et sur la qualité de l'eau dans certains secteurs de la région de la côte Est. Le renforcement du littoral par diverses méthodes de protection (murs, perrés, digues, épis, pavages et remblayages) et le dragage ont modifié les schémas de circulation côtière et le transport des sédiments, ce qui pourrait mener à une aggravation de l'érosion du littoral et à une diminution de la capacité d'atténuer les inondations (section 6.3.4; p. ex. Hapke *et al.*, 2013; Pontee, 2013). Les changements dans la couverture terrestre peuvent détruire ou endommager les

habitats d'espèces indigènes (Ban et Alder, 2008; Halpern et al., 2008; Burkett et Davidson, 2012). Le recours à l'utilisation de mesures structurelles afin de protéger les actifs sociétaux peut entraîner la perte d'habitats sablonneux intertidaux (Defeo et al., 2009; Leclerc, 2010; Bernatchez et Frazer, 2012; Spalding et al., 2014). Les mesures qui améliorent la résilience des zones côtières comprennent la protection, la végétalisation et la stabilisation des dunes, le maintien de l'apport en sédiments et la création de zones tampons, de servitudes révisables et de marges de recul permettant la migration du littoral vers l'intérieur des terres (voir le chapitre 3; Defeo et al., 2009).

Comprendre comment et à quel point un système côtier sera modifié par les changements climatiques demeure difficile, compte tenu de l'interrelation complexe entre les systèmes humains et naturels. Cela est manifeste dans les estuaires fortement poldérisés de la baie de Fundy, où bon nombre des principales rivières se jetant dans la baie ont été entièrement ou partiellement obstruées (van Proosdij et Page, 2012). Un ouvrage de génie civil comme une digue, qui restreint l'étendue des inondations par les marées, une structure qui diminue la largeur d'un chenal ou ferme une section d'un estuaire modifiera, en conséquence, l'ampleur du débit de marée caractéristique (van Proosdij et Baker, 2007; van Proosdij et al., 2009). Cela peut à son tour entraîner une sédimentation et/ou une modification rapide de la morphologie intertidale de l'estuaire et la position des habitats intertidaux. La réaction du système, elle, dépend toutefois d'un grand nombre de facteurs, y compris les propriétés des sédiments, la morphologie de l'estuaire de même que le moment et la séquence des modifications techniques (voir van Proosdij et al., 2009 pour obtenir une comparaison de la rivière Petitcodiac du Nouveau-Brunswick avec la rivière Avon en Nouvelle-Écosse).

5 COLLECTIVITÉS ET SECTEURS ÉCONOMIQUES

Les collectivités côtières et l'activité économique dans la région de la côte Est seront touchées par les changements liés au climat et décrits aux sections 3 et 4, en particulier ceux qui sont associés aux dangers côtiers, y compris l'érosion et l'inondation causées par les ondes de tempête (Hughes et Brundit, 1992; Arkema et al., 2013). Les impacts associés aux changements climatiques reflètent à la fois le degré d'exposition aux dangers naturels et la vulnérabilité du système exposé (figures 11 et 12). La vulnérabilité, ou la prédisposition à subir des effets préjudiciables, englobe divers éléments, y compris la sensibilité aux préjudices et la capacité de composer avec les changements ou de s'y adapter (voir le chapitre 1, encadré 4 pour connaître les définitions des principaux termes). L'accès aux ressources et les facteurs sociaux importants ont une incidence sur la capacité d'adaptation. Les mesures d'adaptation sont entreprises en vue de réduire les risques ou de profiter des occasions. Toutefois, beaucoup de modifications apportées par les humains à la côte se sont avérées être mésadaptées du fait qu'elles touchent les processus côtiers de façons qui accroissent la vulnérabilité des collectivités, des infrastructures et des écosystèmes côtiers.

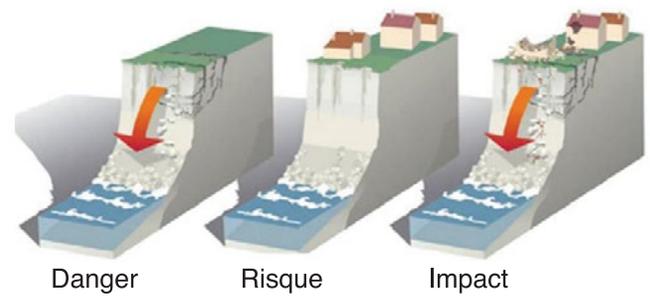


FIGURE 11 : Dangers côtiers, risques liés à l'exposition d'actifs précieux (y compris des services écosystémiques) et impacts (tiré de Ministère de l'Écologie et du Développement durable de France, 2004).

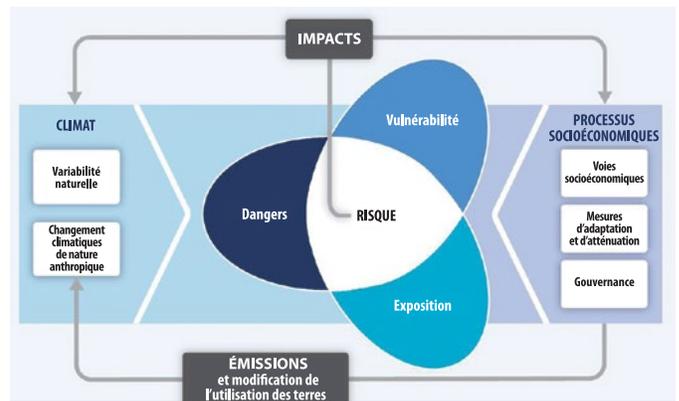


FIGURE 12 : Impacts climatiques associés aux risques côtiers découlant de l'interaction des dangers côtiers et de la vulnérabilité des systèmes exposés (tiré de GIEC, 2014).

Cette section examine les concepts d'exposition, de sensibilité et de capacité d'adaptation à l'aide d'exemples issus de la région de la côte Est. Elle offre ensuite un aperçu des initiatives récentes visant à documenter les vulnérabilités, puis souligne les impacts des changements climatiques en ce qui concerne les principales activités économiques (p. ex. pêches, transport et tourisme) de même que la santé, le bien-être, la culture et le patrimoine de la collectivité.

5.1 EXPOSITION

L'exposition désigne la présence, dans un lieu et un contexte susceptibles de subir des impacts négatifs, de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions environnementales, de ressources, d'infrastructure ou d'actifs économiques, sociaux ou culturels (GIEC, 2014). Dans les régions côtières, l'exposition subit l'influence des caractéristiques ou attributs physiques de la zone côtière et est directement liée à la probabilité d'apparition de conditions dangereuses (Dolan et Walker, 2006; Tibbetts et van Proosdij, 2013). Les peuplements situés sur d'anciens bas marais ou sur des falaises côtières qui s'érodent sont plus exposés aux risques liés aux impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et de l'accélération de l'érosion que les peuplements situés au-dessus du niveau d'eau le plus élevé à marée haute ou sur un substratum rocheux résistant.

L'exposition est souvent associée à la quantité d'énergie des vagues qui atteint la côte. Elle est influencée par l'orientation du littoral par rapport à l'action du vent et des vagues, de même que par les caractéristiques qui réduisent la quantité d'énergie qui atteint la côte, comme la banquise côtière, la glace de mer au large, la végétation intertidale et les barres sublittorales. La direction des vagues les plus dommageables varie dans toute la région de la côte Est. Par exemple, les vents à l'Île-du-Prince-Édouard proviennent principalement de l'ouest, mais les plus grosses vagues proviennent généralement du nord-nord-ouest (Davies, 2011). Dans le nord du Nouveau-Brunswick, les résidents locaux affirment que les vents et les vagues les plus dommageables proviennent du nord-est et appellent ces vents et les violentes tempêtes qui les accompagnent « les nordets » (O'Carroll, 2008). Dans la partie ouest du cap Breton, en Nouvelle-Écosse, les vents locaux dommageables sont appelés « les suètes » et sont créés lorsqu'une inversion frontale provoque un effet d'entonnoir au-dessus des hautes terres du cap Breton. Lorsque les vents dévalent les hautes terres, de fortes rafales se développent; ces dernières peuvent même dépasser les 150 km/h.

À quelques exceptions près, les collectivités situées sur des rivages exposés à l'action de la houle et aux vagues de tempête de l'océan Atlantique sont celles qui reçoivent le plus d'énergie des vagues. Le climat des vagues et l'exposition connexe varient au cours de l'année (Dufour et Ouellet, 2007) et d'une année à l'autre (Davies, 2011). Par exemple, la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard présente une forte variabilité interdécennale, ayant reçu au cours de la période de 2000 à 2009 plus d'énergie des vagues que pendant toute autre décennie depuis les années 1960 (Davies, 2011). Cela s'explique en partie par la couverture de glace, dont la durée est passée d'une moyenne de 103 jours au cours des années 1970 à une moyenne de 80 jours au cours des années 2000 (Davies, 2011) sur la même côte.

Un autre facteur pouvant modifier l'exposition est l'amplitude des marées, qui varie considérablement dans la région de la côte Est, allant de moins d'un mètre près des îles de la Madeleine à plus de 16 m dans la baie Cobequid de la baie de Fundy (p. ex. Cooper et McLaughlin, 1998; Boruff *et al.*, 2005; Rao Nageswara *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2010; Pendleton *et al.*, 2010; Tibbetts et van Proosdij, 2013). Les systèmes côtiers dans des régions présentant une faible amplitude des marées (microtidales) sont généralement moins aptes à recevoir les niveaux d'eau extrêmes associés à une onde de tempête, puisqu'il y a moins d'espace disponible pour absorber l'onde en question. En outre, puisqu'une onde de tempête a le plus gros impact lorsqu'elle se produit à marée haute ou près de la marée haute, la probabilité d'ondes provoquant des dommages est moins élevée dans les régions présentant une forte amplitude des marées (macrotidales; Desplanque et Mossman, 2004).

Les facteurs les plus communs qui réduisent la quantité d'énergie des vagues qui atteint le rivage dans la région de la côte Est sont la glace de mer au large (section 3.3), la banquise côtière (p. ex. côte du détroit de Northumberland, golfe du Saint-Laurent, Terre-Neuve), les herbiers (p. ex. port de Port Joli, en Nouvelle-Écosse), les marais de bas de plage (marais salés qui se développent du côté marin d'une digue, p. ex. bassin Minas, en Nouvelle-Écosse) ou les dunes (p. ex. côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard) et les cordons littoraux (p. ex. flèche de Bouctouche au

Nouveau-Brunswick ou barachois de gravier [lagon côtier séparé de l'océan par un cordon de sable ou de galets] à Terre-Neuve). Par exemple, l'énergie des vagues côtières sur la côte nord-est de l'île de Terre-Neuve peut être considérablement amoindrie une fois que la couverture de glace extracôtière se développe, mais les côtes le long du côté sud de l'île demeurent vulnérables à l'érosion par les tempêtes hivernales (Taylor *et al.*, 1997; Forbes *et al.*, 2000; Ingram, 2004; Catto, 2011). Les marais de bas de plage peuvent atténuer jusqu'à 97 % de l'énergie des vagues qui arrivent, selon la taille du marais (Möller et Spencer, 2002; Doody, 2008; van Proosdij et Page, 2012; Möller *et al.*, 2014). La préservation et/ou la stimulation de l'habitat de marais de bas de place sont des exemples de mesures d'adaptation visant à améliorer et/ou restaurer les processus écologiques afin d'aider à atténuer les impacts environnementaux de l'infrastructure bâtie (Chapman et Underwood, 2011; van Proosdij et Page, 2012).

5.2 SENSIBILITÉ

La sensibilité est le degré auquel un système (p. ex. écosystème, collectivité, infrastructure) est touché, de manière positive ou négative, par les changements liés au climat (GIEC, 2014) et est liée à la fois à la gravité de l'exposition et aux conséquences potentielles de l'exposition. Les peuplements côtiers peuvent présenter une sensibilité différente aux risques climatiques en fonction de leurs caractéristiques socioéconomiques et culturelles et de leurs structures opérationnelles et en matière de planification.

Les schémas historiques de peuplement des Européens dans la région de la côte Est étaient en grande partie dictés par la nécessité d'avoir accès à des ressources comme le poisson, le minerai et le bois ou d'en assurer le transport; ainsi, des infrastructures comme des entrepôts et des routes ont été construites le long du rivage ou à proximité. Dans une grande partie de la région, les collectivités sont nées pour servir de port d'attache et d'infrastructure à l'appui des pêches côtières et extracôtières. Les villages côtiers étaient reliés par transport maritime et, lorsque les routes ont été construites, ils ont suivi la tendance historique. Dans toute la Nouvelle-Écosse acadienne, de grands réseaux de digues ont été construits par les premiers colons afin de drainer les marais salés fertiles à des fins agricoles. Les grands ports construits à Saint John au Nouveau-Brunswick, Halifax en Nouvelle-Écosse, St. Johns à Terre-Neuve et Québec au Québec se sont développés de façon à maintenir les liens commerciaux avec l'est de l'Amérique du Nord et l'Europe.

La sensibilité aux impacts climatiques est influencée en partie par la persistance de ces premiers schémas de peuplement, malgré que dans certains cas, les industries contemporaines n'ont plus rien à voir avec les activités de jadis. On le remarque particulièrement dans les marais poldérisés, dans lesquels on récoltait autrefois un foin de marais salé de grande valeur (Lieske, 2012). Par exemple, la région de l'isthme de Chignecto (qui fait le pont entre la province de la Nouvelle-Écosse et celle du Nouveau-Brunswick) est passée d'un grand centre de production de foin à un couloir essentiel de transport et de communication grâce auquel circule à destination des marchés internationaux des biens dont la valeur commerciale annuelle s'élève à 43 milliards de dollars. Malgré tout, l'infrastructure dans bon nombre des villes et villages de la région continue

de s'appuyer sur quelque 33 km d'anciennes digues agricoles pour assurer sa protection contre les marées montantes (Webster *et al.*, 2012b; Wilson *et al.*, 2012). Une onde de tempête à période de récurrence de 10 ans pourrait franchir environ 90 % du réseau de digues existant et inonder temporairement 20 % de la ville de Sackville, au Nouveau-Brunswick (Lieske et Bornemann, 2012).

Les schémas de développement contemporains sont également influencés par le tourisme et les possibilités de loisirs comme les chalets et les locations saisonnières près de la côte. Les petits chalets et cabanes qui étaient des résidences secondaires sont maintenant souvent modifiés de manière à devenir des résidences principales. Cette situation est manifeste le long de la plupart des côtes de la région de la côte Est, en particulier le long des berges du détroit de Northumberland, sur la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard et la côte sud de la Nouvelle-Écosse. Ces changements accroissent considérablement la valeur des actifs menacés par les dangers côtiers (Delusca *et al.*, 2008), non seulement en ce qui concerne la valeur absolue en dollars, mais également parce que l'on tolère des niveaux de risque différents, qu'il s'agisse soit d'une résidence secondaire, soit d'une résidence principale.

La sensibilité est en outre liée au degré auquel le danger touche des secteurs d'importance environnementale, sociale, économique et culturelle. Par exemple, une collectivité qui se trouve isolée des services d'urgence lorsque son seul lien de transport est inondé ou détruit est plus à risque qu'une collectivité qui dispose de plus d'options d'accès aux services et/ou d'évacuation. On l'a constaté en 2010, alors que les pluies associées à l'ouragan Igor ont emporté des routes et des ponts dans l'ensemble des péninsules de Burin et de Bonavista à Terre-Neuve. La sensibilité est en outre influencée par les conditions sociales (c.-à-d. revenu, âge et niveau de scolarité), les ressources communautaires et les structures sociales (Dolan et Walker, 2006; Garmendia *et al.*, 2010; Rapaport *et al.*, 2013). Dans certains secteurs de la région de la côte Est, le vieillissement de la population rurale et sa plus grande sensibilité aux facteurs de stress directs (p. ex. inondations et chaleur excessive) et indirects (p. ex. incapacité à accéder à un soutien social, à des aliments et à des soins médicaux) liés au climat sont des problèmes particulièrement préoccupants (Rapaport *et al.*, 2013). On compte parmi les autres considérations relatives à la sensibilité économique, les impacts possibles des phénomènes météorologiques extrêmes sur l'emploi et la structure industrielle.

5.3 CAPACITÉ D'ADAPTATION

La capacité d'adaptation désigne la capacité d'un pays, d'une région, d'une collectivité ou d'un groupe à mettre en œuvre des mesures d'adaptation efficaces (p. ex. GIEC, 2007; Lemmen *et al.*, 2008). Elle est influencée par un grand nombre de facteurs sociaux, économiques, réglementaires et politiques (p. ex. Smithers et Smit, 1997). À mesure que le changement s'accélère, la capacité d'adaptation de nombreuses collectivités sera mise à l'épreuve. Les impacts extrêmes peuvent dépasser les ressources humaines et financières disponibles pour les combattre et peuvent engendrer un stress physique, financier et psychologique. Le stress exercé sur les gouvernements et les fournisseurs de services locaux de même que sur les autres intervenants en cas de catastrophe peut réduire la capacité d'adaptation requise en vue de lutter efficacement

contre les impacts des changements climatiques à court et à long terme (Manuel *et al.*, 2012).

Dans la région de la côte Est, il y a eu une hausse du nombre d'initiatives des administrations locales et des gouvernements provinciaux et de partenariats de recherche entre les collectivités et les universités au cours de la dernière décennie, lancées dans le but de mettre l'accent sur l'amélioration de la capacité d'adaptation et l'exécution de la planification de l'adaptation aux changements climatiques. Par exemple, l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique est un partenariat entre les gouvernements du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse, de l'Île-du-Prince-Édouard et de Terre-Neuve-et-Labrador qui travaille avec le gouvernement du Canada en vue d'aider les Canadiennes et Canadiens de l'Atlantique à mieux se préparer et s'adapter aux changements climatiques (association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 2012). Au Québec, Ouranos, une initiative conjointe du gouvernement du Québec, d'Hydro-Québec et d'Environnement Canada, avec l'appui financier de Valorisation-Recherche Québec, a été mis sur pied afin d'agir à titre de consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques et a rassemblé plus de 400 chercheurs et professionnels provenant d'une gamme de disciplines pertinentes.

De nombreuses initiatives ont été entreprises ces dernières années dans toute la région de la côte Est afin de mettre au point des outils pratiques de planification de l'adaptation (voir le chapitre 3) et d'encourager le recours aux mesures d'adaptation (étude de cas 3). Beaucoup de collectivités plus petites disposant de ressources limitées ont profité de la collaboration avec des universités et des collèges de toute la région prêtes à partager leur expertise et des innovations technologiques (p. ex. Bernatchez *et al.*, 2008a; Fedak, 2012; Lieske, 2012; Manuel *et al.*, 2012).

ÉTUDE DE CAS 3

INCITATIF FINANCIER EN MATIÈRE DE PLANIFICATION DE L'ADAPTATION : LE PLAN D'ACTION MUNICIPAL SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE

Le gouvernement fédéral transfère aux municipalités des fonds équivalents à une portion de la taxe d'accise fédérale sur l'essence pour les projets d'infrastructure qui contribuent à une eau plus pure, à un air plus pur et/ou à une réduction des gaz à effet de serre. En Nouvelle-Écosse, les modalités d'admissibilité à la « taxe sur l'essence » sont définies dans l'Accord Canada-Nouvelle-Écosse sur le transfert des recettes de la taxe fédérale sur l'essence. Comme condition de financement, les municipalités de la Nouvelle-Écosse devaient présenter un Plan d'action municipal contre les changements climatiques (Municipal Climate Change Action Plan – MCCAP) avant la fin de 2013. Le MCCAP a servi de

moyen de cerner les priorités en matière de mesures d'adaptation.

Service Nouvelle-Écosse et Relations avec les municipalités et le Secrétariat du Programme d'Infrastructures Canada–Nouvelle-Écosse ont fourni un guide (Fisher, 2011) qui décrit un cadre en six étapes conçues en vue d'aider les municipalités à préparer la partie du MCCAP traitant de l'adaptation. Chaque étape consiste en une série de questions qui, de façon cumulative, évaluent si et comment les tendances et les prévisions du climat local peuvent engendrer ou aggraver des dangers, et de quelle manière ces conditions changeantes peuvent porter atteinte à la sécurité des gens, aux services et actifs municipaux et à d'autres caractéristiques propres à la collectivité (p. ex. fonctions économiques locales, sentiment d'appartenance et de bien-être communautaire, planification de préparation aux urgences et capacité d'intervention).

Un élément clé de la préparation réussie d'un MCCAP pour toutes les municipalités de la Nouvelle-Écosse était le document intitulé *Scenarios and Guidance for Adaptation to Climate Change and Sea Level Rise – NS and PEI Municipalities* (scénarios et conseils en vue de l'adaptation aux changements climatiques et à l'élévation du niveau de la mer – municipalités de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard; Richards et Daigle, 2011), qui offrait un point de départ commun en ce qui concerne les tendances et les prévisions climatiques. Au-delà de ce document de base, la qualité d'un MCCAP était définie en grande partie par la capacité interne d'une municipalité d'interpréter les tendances et les prévisions climatiques dans un contexte local afin de comprendre les impacts susceptibles de se produire et la gravité potentielle de leurs conséquences.

Une étude récente de l'adaptation municipale aux changements climatiques autour de la baie de Fundy a révélé qu'une combinaison de facteurs, y compris l'expertise et le temps limités des employés, les budgets serrés et le manque d'autorité compétente, fait qu'il est difficile pour les municipalités de traiter même des vulnérabilités aux changements climatiques les mieux documentées (Schauffler, 2014). Le processus de MCCAP a mis en évidence plusieurs constatations, entre autres que des facteurs clés comme la géologie ne sont pas souvent pris en considération lors de la prise de décisions en matière de planification de l'utilisation des terres. De telles omissions sont en grande partie attribuables aux lourdes demandes quotidiennes imposées au secteur de l'utilisation des terres et de la planification communautaire de même qu'au manque de soutien au niveau de la recherche et de l'intégration de renseignements supplémentaires lors de la préparation des stratégies à long terme d'utilisation des terres. Les autres difficultés révélées par le processus du MCCAP étaient les suivantes :

- La compétence limitée des municipalités rend difficile d'aborder certains risques climatiques clés. Par exemple, les puits privés sont contrôlés par la province. Par conséquent, même si une collectivité peut subir d'importants impacts sociaux et économiques si les puits s'assèchent, elle ne participe pas aux activités de surveillance ou de gestion des eaux souterraines ou aux activités d'octroi de permis de forage. En outre, il y a de nombreux enjeux (p. ex. prolonge-

ment des réseaux d'approvisionnement en eau) qui relèvent de la compétence provinciale et dans lesquels les unités municipales pourraient jouer un rôle plus important dans la formulation des réactions régionales à l'adaptation aux changements climatiques.

- Certains des renseignements scientifiques et techniques dont les municipalités avaient besoin n'étaient pas disponibles ou étaient difficilement accessibles. Le processus du MCCAP a mis en évidence les renseignements ou les outils qui sont utiles aux municipalités en vue d'améliorer la résilience au climat et a soulevé la question de savoir qui doit être responsable de la cueillette et de la diffusion de cette information. Les municipalités ne disposant pas d'experts sur les processus côtiers parmi leurs employés, ils doivent faire appel aux services d'experts extérieurs si, par exemple, l'érosion est une question qui mérite d'être étudiée.

Malgré ces difficultés, le processus du MCCAP de la Nouvelle-Écosse peut être considéré comme une réussite à plusieurs égards. Par exemple, l'inclusion d'employés chargés de la gestion des urgences dans les comités municipaux traitant de la question des changements climatiques et les processus d'évaluation coopératifs ont permis de reconnaître davantage la relation entre l'utilisation des terres et les activités d'atténuation des risques de catastrophe et de réaction aux catastrophes. Ceci a mené à l'amélioration de l'échange de renseignements (p. ex. cartographie) et à la collaboration entre ces deux aspects de la gestion municipale.

Les municipalités sont généralement parvenues à la conclusion commune qu'elles avaient un rôle important à jouer en procurant à leurs résidents, par le partage de ce qu'elles avaient appris sur les risques climatiques au cours du processus du MCCAP, l'aide dont ils ont besoin pour gérer leurs propres risques. En même temps, on s'est prononcé sur les situations dans lesquelles la prestation de renseignements pouvait s'avérer insuffisante et où le recours à des politiques s'imposait en vue de contrôler le développement dans le but de réduire les risques. On a en outre reconnu que les politiques « universelles » fonctionnent rarement lorsqu'il s'agit d'aborder les dangers côtiers, et qu'il est donc nécessaire de procéder à des travaux propres à chaque site si l'on veut maintenir l'équilibre entre le besoin d'une municipalité de réagir de façon responsable à un risque connu (ou soupçonné) et le désir de permettre l'utilisation appropriée d'une propriété. Le processus du MCCAP a donné lieu à des progrès appréciables au niveau provincial en matière d'organisation, d'amélioration et de diffusion de données pertinentes auprès des municipalités.

En exigeant que les MCCAP tiennent compte des impacts sociaux et économiques, il y a eu un changement subtil, mais profond dans la perception de la planification de l'adaptation au climat, qui est passée d'un sujet de recherche ponctuel à un processus grâce auquel une corporation municipale jauge activement les tendances des forces externes (c.-à-d. macroéconomie, démographie, santé et gouvernance) en combinaison avec une auto-évaluation honnête. Il s'agit d'une approche qui offre des avantages peu importe la façon dont le climat évolue.

Les progrès technologiques et une capacité accrue de transformer des données en connaissances ont amélioré la capacité d'adaptation dans toute la région de la côte Est. Des levés topographiques LiDAR (Light Detection and Ranging – détection et télémétrie par ondes lumineuses) à haute résolution et des systèmes d'information géographique avancés ont permis d'étudier les inondations en plusieurs endroits de la région de la côte Est (p. ex. Daigle, 2006; Robichaud *et al.*, 2011; Fedak et van Proosdij, 2012; Webster *et al.*, 2012a; Lieske *et al.*, 2014; Daigle *et al.*, 2015). L'identification efficace des zones dangereuses aux fins de planification a également été effectuée au moyen de modèles altimétriques numériques plus grossiers (p. ex. île Madame, baie St. Margarets, cap Breton et certaines parties de la côte sud de la Nouvelle-Écosse; Lane *et al.*, 2013; Rapaport *et al.*, 2013).

5.4 ÉVALUATIONS DE LA VULNÉRABILITÉ

Au cours de la dernière décennie, il y a eu une importante augmentation du nombre d'évaluations de la vulnérabilité réalisées dans la région de la côte Est, la plupart sous la forme de rapports techniques. Lors de la rédaction du présent chapitre, 226 études individuelles réalisées depuis la fin des années 1990 ont été inventoriées pour la région de la côte Est. Plusieurs de ces études couvraient plus d'une collectivité. Les études ont été groupées en grandes catégories afin de dresser un portrait des travaux réalisés et de l'objectif principal de la recherche effectuée jusqu'à maintenant (figure 13). À noter que l'inventaire est limité aux documents publics et faciles d'accès et n'est donc pas exhaustif.

Parmi les études compilées, plus de 40 % de celles réalisées à l'Île-du-Prince-Édouard, au Québec et au Nouveau-Brunswick mettaient l'accent sur l'érosion côtière. Les études sur la vulnérabilité et la restauration des écosystèmes prévalents en Nouvelle-Écosse, et mentionnent particulièrement les MCCAP et les grandes zones poldérisées de la province. À Terre-Neuve-et-Labrador, les inondations dominent la documentation examinée (60 %). On doit faire remarquer que les grandes évaluations de l'érosion à l'échelle provinciale réalisées par Catto (2011) et Webster (2012) à Terre-Neuve et à l'Île-du-Prince-Édouard, respectivement, ne sont probablement pas convenablement représentées dans cette analyse.

Les régions où les collectivités ne disposent actuellement pas d'évaluations importantes, comme la côte est de la Nouvelle-Écosse, la côte centrale de la baie Fundy au Nouveau-Brunswick, une grande partie de Terre-Neuve-et-Labrador et la Côte-Nord du Québec, ressortent clairement dans la figure 13. L'accessibilité accrue des données publiques pourrait aider à combler certaines de ces lacunes. Par exemple, le gouvernement du Nouveau-Brunswick est en train de rendre publique sa base de données sur l'érosion côtière, de sorte que plus de 14 500 taux d'érosion seront accessibles en ligne grâce à une carte interactive (D. Bérubé, communication personnelle, 2015). Les données sur l'érosion pour Terre-Neuve-et-Labrador seront elles aussi bientôt disponibles en ligne sous forme de carte interactive (N. Catto, communication personnelle, 2015).

Même s'il existe de multiples méthodes pour évaluer la vulnérabilité côtière, la méthode la plus commune utilise des indices qui simplifient un grand nombre de paramètres clés afin

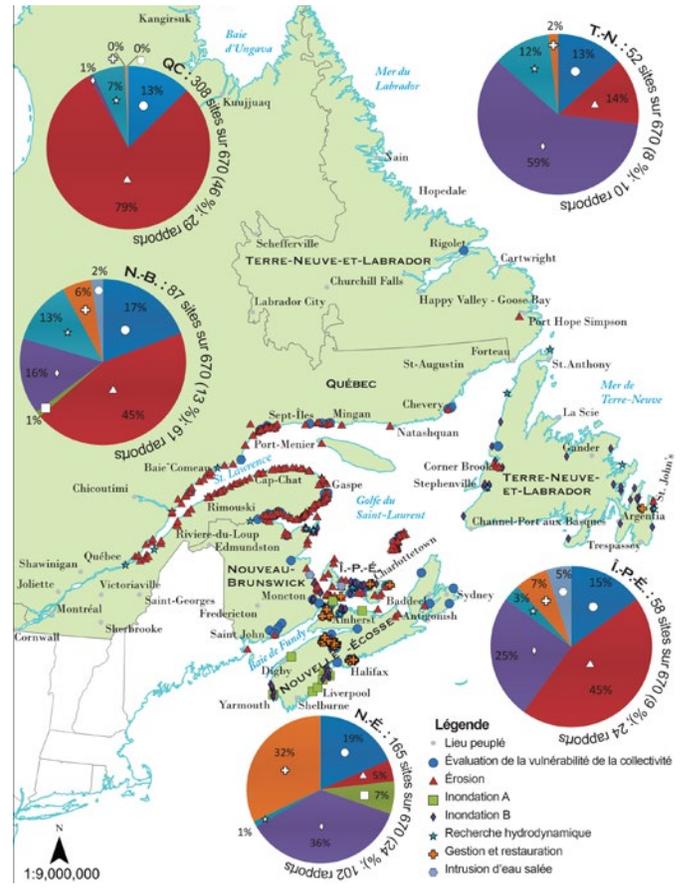


FIGURE 13 : Recueil spatial des sites examinés dans le cadre d'études sur la vulnérabilité dans la région de la côte Est. Les catégories en légende sont les suivantes : évaluations de la vulnérabilité communautaire, érosion (taux, ajustement de la côte, études géologiques), inondations A (ampleur générale avec élévation du niveau de la mer), inondations B (élévation du niveau de la mer et/ou onde de tempête avec variables liées à l'infrastructure et/ou sociales), hydrodynamique (modèles et scénarios 1-D et 2-D), gestion et restauration (restauration du rivage et évaluation de la gestion et des politiques) et intrusion d'eau salée (études sur les intrusions et la transition). L'inventaire se limite aux documents publics et faciles d'accès et n'est donc pas exhaustif. Recueil compilé par B. Maclsaac et cartographie réalisée par B. Perrott (Maritime Provinces Spatial Analysis Research Centre, Université Saint Mary's).

de créer un indicateur unique (Carrasco *et al.*, 2012). Les premières études sur la vulnérabilité côtière étaient fondées principalement sur les caractéristiques biophysiques, aux termes desquels la vulnérabilité était définie comme étant l'exposition à un événement dangereux sans égard aux impacts sur les conditions sociales (Abraham *et al.*, 1997; Dolan et Walker, 2006). Cette approche a souvent été employée dans la région de la côte Est et mettait principalement l'accent sur l'érosion côtière et les inondations attribuables à l'élévation du niveau de la mer et/ou aux ondes de tempête. Dans quelques régions, des études de modélisation hydrodynamique en deux et trois dimensions ont été réalisées en vue d'évaluer la vitesse des eaux de crue par rapport à la profondeur (p. ex. Wolfville, en Nouvelle-Écosse; Fedak, 2012; van Proosdij, 2013), l'effet combiné du drainage de l'eau douce et des ondes de tempête dans une zone estuarienne (p. ex. Oxford et rivière Philip, en Nouvelle-Écosse; Webster *et al.*, 2012b) et l'effet de la remontée des vagues (p. ex. port d'Halifax, en Nouvelle-Écosse; Xu et Perrie, 2012).

Des indices d'érosion côtière ont été produits pour l'ensemble des côtes de l'île de Terre-Neuve (Catto, 2011), la Côte-Nord du golfe du Saint-Laurent (Dubois *et al.*, 2005), les îles de la Madeleine (Bernatchez *et al.*, 2012b), le Nouveau-Brunswick (O'Carroll *et al.*, 2006; O'Carroll, 2008) et l'Île-du-Prince-Édouard (O'Carroll, 2010b; Webster, 2012). Des études plus modestes et géographiquement restreintes des taux d'érosion côtière ont été réalisées en Nouvelle-Écosse (Fink, 2007; Utting et Gallacher, 2009; Force, 2012), au Québec et au Nouveau-Brunswick (section 3.4). Catto (2012) a préconisé la distinction des moteurs à long terme (p. ex. élévation du niveau de la mer) des moteurs à court terme (p. ex. tempêtes épisodiques) de l'érosion côtière. Des événements isolés, comme la tempête de janvier 2000 qui a frappé le sud-ouest et le sud de Terre-Neuve (Forbes *et al.*, 2000; Catto *et al.*, 2006) et l'ouragan Igor de 2010 (Catto, 2011), peuvent entraîner une forte érosion côtière n'ayant aucun rapport avec l'élévation du niveau de la mer ou d'autres changements à long terme. On note parmi les autres études qui ont documenté d'importants changements morphologiques en réaction à des tempêtes, les études sur la tempête post-tropicale Noel (Taylor *et al.*, 2008) et sur la onde de tempête associée à un blizzard de février 2013 en Nouvelle-Écosse (Taylor, 2014).

En ce qui concerne les rythmes futurs de changement dans la position de la côte, la plupart des études formulent des déductions en s'appuyant sur des analyses historiques et présument une relation linéaire. Parmi les autres approches utilisées, on note celle appliquée à l'Île-du-Prince-Édouard, dans laquelle les taux d'érosion et la position de la côte étaient fondés sur des analyses informatiques du transport littoral dans des cellules littorales et sur le calcul d'un budget de sédiments côtiers en fonction de chaque cellule (voir le chapitre 2; Davies, 2011). Cette approche permet de tenir compte du caractère cyclique saisonnier et du déplacement des sédiments au sein de chaque cellule. MacDonald (2014) a incorporé ces processus pour documenter les changements dans la vulnérabilité côtière physique au fil du temps, au fur et à mesure que la position de la côte subie une modification. Une évaluation économique des impacts de l'érosion sur l'infrastructure côtière au Québec a révélé que d'ici l'an 2065, 5 426 bâtiments seront exposés à l'érosion si aucune mesure d'adaptation n'est prise (83 % de ces bâtiments étant des habitations) et que, de la même façon, 294 km de routes et 26 km de chemins de fer seront exposés. La valeur combinée de ces infrastructures est de 1,5 milliard de dollars (Bernatchez *et al.*, 2015).

Les études mettant l'accent sur les effets physiques de l'érosion et/ou des inondations sur les infrastructures résidentielles, commerciales et institutionnelles comprennent celles entreprises en réaction aux préoccupations exprimées dans les collectivités de Le Goulet, Shippagan et Bas-Caraquet dans le nord-est du Nouveau-Brunswick, qui cherchaient à obtenir des renseignements détaillés sur les niveaux des ondes de tempête et des cartes d'érosion côtière en vue d'aider à dresser des plans municipaux (Robichaud *et al.*, 2011; Aubé et Kocyla, 2012; Jolicoeur et O'Carroll, 2012). Les études attribuaient des niveaux de risque aux infrastructures en fonction du rapport entre la hauteur du bâtiment et la profondeur de l'inondation (Robichaud *et al.*, 2011; Aubé et Kocyla, 2012). On a produit des cartes montrant l'intersection de l'ampleur de l'inondation et des zones d'érosion en fonction des infrastructures connues au moyen d'images aériennes, de levés LiDAR et des

données disponibles sur les marées et/ou les ondes de tempête. Les cartes ont facilité la participation des membres de la collectivité à la détermination et à l'adoption des propositions de plan de zonage en fonction de références temporelles futures précises (Robichaud *et al.*, 2011; Aubé et Kocyla, 2012; Jolicoeur et O'Carroll, 2012). Les cinq communautés Mi'kmaq des lacs Bras d'Or ont récemment achevé une évaluation similaire de leurs réserves côtières dans le cadre de la première phase de l'évaluation de leur vulnérabilité aux changements climatiques et de la détermination des options d'adaptation (Daigle *et al.*, 2015).

Une autre méthode permettant de déterminer la vulnérabilité exige une évaluation intégrée des vulnérabilités physiques et sociales. Par exemple, une approche intégrée en équipe combinant l'évaluation des risques physiques (c.-à-d. les effets des scénarios d'élévation du niveau de la mer et/ou des ondes de tempête sur les infrastructures) et les actifs sociaux (c.-à-d. les plages, les parcs et les sentiers pédestres), de même que les valeurs sociales, a été employée pour examiner les options d'évitement, de protection, d'accommodement et de retrait pour des endroits précis de Yarmouth et Lunenburg, en Nouvelle-Écosse, et pour les utilisations des structures et des espaces communautaires (Cochran *et al.*, 2012; Johnston *et al.*, 2012; Muise *et al.*, 2012; Wollenburg *et al.*, 2012). Cette étude a également vérifié l'efficacité de différentes techniques de visualisation, allant d'affichages statiques et interactifs sur ordinateur à un modèle physique tridimensionnel (3D) illustrant les niveaux d'inondation, pour communiquer les risques. Même si on a déterminé que les simulations photographiques sont les plus intéressantes, un éventail d'outils a été jugé utile (Maher *et al.*, 2012). L'environnement de visualisation de l'impact côtier (Coastal Impact Visualization Environment – CLIVE) est un outil de géovisualisation qui permet aux utilisateurs de combiner des données provenant de nombreuses sources, y compris de grandes archives provinciales de photographies aériennes, et les plus récentes données altimétriques numériques à haute résolution (LiDAR), afin de mettre au point des visualisations analytiques des régimes d'érosion côtière et des scénarios d'élévation future possible du niveau de la mer (Hedley *et al.*, soumis). L'outil a été utilisé dans le but d'évaluer la vulnérabilité de l'infrastructure côtière de l'Île-du-Prince-Édouard (Fenech *et al.*, soumis).

Les évaluations de la vulnérabilité mettent souvent l'accent sur l'importance d'incorporer le point de vue des résidents locaux, leur expérience de composition avec les impacts climatiques antérieurs et leur savoir traditionnel. Les évaluations au niveau de la collectivité peuvent stimuler le changement, améliorer le soutien offert par la collectivité aux solutions et permettre aux personnes touchées de s'exprimer, tout en consignait les expériences des aînés de la collectivité. Les rapports sur les collectivités de Victoria, North Rustico, Mount Stewart et Souris, à l'Île-du-Prince-Édouard, incorporent des entrevues clés avec des membres de la collectivité comprenant leurs photographies et souvenirs historiques personnels (Government of Prince Edward Island, 2011). Dans d'autres régions, comme à Sackville au Nouveau-Brunswick, des trousseaux d'outils simples d'adaptation aux changements climatiques ont été créés à l'usage de la collectivité locale (p. ex. Marlin, 2013). La collectivité de Cheticamp au cap Breton, en Nouvelle-Écosse, a été le théâtre d'un éventail d'activités de mobilisation, allant de la surveillance des côtes aux médias sociaux et aux arts, dirigées par

l'Ecology Action Centre (centre d'action écologique) et des partenaires universitaires et publics (Brzeski, 2013).

5.5 IMPACTS

Les effets des changements climatiques sont déjà ressentis dans la région de la côte Est et continueront d'avoir une incidence sur plusieurs aspects de la vie, de la santé à l'économie, en passant par le bien-être des populations humaines. Bon nombre des grands secteurs stratégiques liés à la planification et à la gestion des côtes, y compris le développement économique et la sécurité publique, seront touchés à divers degrés par les changements climatiques (CBCL Limited, 2009). Même si aucune analyse quantitative des impacts économiques n'a été menée dans la plupart des secteurs, les recherches en cours commencent à corriger cette lacune (voir le chapitre 7, FAQ n° 11). La présente section aborde brièvement trois secteurs touchés et les vulnérabilités connexes dans la région de la côte Est : l'économie, la sécurité publique et la culture et le patrimoine.

5.5.1 ÉCONOMIE

Les changements climatiques auront des impacts négatifs (p. ex. dommages aux infrastructures) aussi bien que positifs (p. ex. saisons du tourisme plus longues) sur l'économie de la région de la côte Est. Les recherches disponibles révèlent que l'agriculture, les pêches et le tourisme sont particulièrement sensibles aux changements climatiques, de même que la mise en valeur et le transport du pétrole et du gaz extracôtiers (Vasseur et Catto, 2008). Les impacts potentiels sur les infrastructures, y compris les bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels, constituent une préoccupation intersectorielle

Même si la documentation disponible met principalement l'accent sur les risques auxquels font face les secteurs économiques, un exemple de possibilité éventuelle découlant des changements climatiques est l'accroissement de la productivité des récoltes et la diversification de l'industrie agricole découlant d'une saison de croissance plus longue (Vasseur et Catto, 2008). Cet impact positif pour l'agriculture pourrait être partiellement ou complètement annulé par les impacts négatifs associés aux infestations d'insectes et aux autres perturbations (Vasseur et Catto, 2008).

PÊCHES

Les 598 ports pour petits bateaux de la région de la côte Est reflètent l'importance des pêches dans cette partie du pays (tableau 5). En 2010, les pêches de la côte Est représentaient 80 % du volume total des quantités débarquées en poids et 86 % des navires de pêche immatriculés en eau douce et en eau salée au Canada (MPO, 2013a). En 2011, la pêche maritime commerciale dans la région de la côte Est représentait 1,82 milliard de dollars en valeur débarquée et 710 530 tonnes métriques (poids vif) de prises commerciales. La plus grosse partie de ces prises provenait de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve-et-Labrador (tableau 5).

La valeur économique des pêches dépasse largement la valeur débarquée. En Nouvelle-Écosse, par exemple, les pêches commerciales, la transformation après capture et l'aquaculture ont apporté cumulativement une contribution de plus de 1,1 milliard de dollars au produit intérieur brut de la province en 2006, la majeure partie de cette contribution étant attribuée aux mollusques et crustacés (Gardiner Pinfold Consulting Economists Ltd., 2009). À elle seule, la pêche au homard dans les quatre provinces de l'Atlantique est évaluée à 550 millions de dollars par an (Seiden et al., 2012).

TABLEAU 5 : Pêche commerciale dans la région de la côte Est, en 2011 (MPO, 2013b, c).

Province	Ports pour petits bateaux (pêche)	Poids vif (tonnes métriques)	Valeur débarquée (\$)	Valeur débarquée (\$/tonne)
Nouvelle-Écosse	163	258 677	731 992 000	2 829
Nouveau-Brunswick	68	81 760	175 196 000	2 143
Île-du-Prince-Édouard	46	30 789	111 106 000	3 609
Terre-Neuve-et-Labrador	264	283 923	641 978 000	2 261
Québec	57	55 381	154 898 000	2 797

L'évolution du climat touche de nombreux aspects de l'écologie des pêches, y compris les habitudes migratoires et le moment de la fraie et des étapes du cycle de vie, ce qui a d'importantes répercussions économiques. Wahle et al. (2013, p. 1571) ont qualifié 2012 « d'année où les changements climatiques se sont fait sentir » dans la pêche au homard américain. Une vague de chaleur océanique a engendré une surabondance de homards dans les états de la Nouvelle-Angleterre avant la fin de la pêche canadienne, ce qui a provoqué une chute vertigineuse des prix (Wahle et al., 2013). Les habitudes migratoires changeantes font que le maquereau (*Scomber scombrus*) arrive dans la région de la côte Est plus tard en été, de sorte que son arrivée ne chevauche plus les saisons de la langouste et du crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*). Puisque le maquereau est une espèce de poisson-appât de base, le manque d'appât est un autre facteur de stress pour l'industrie locale de la pêche au homard.

Les appâts achetés ailleurs ne sont pas rentables pour les pêcheurs puisque le prix des appâts augmente avec les coûts de transport et de réfrigération (Brzeski, 2013).

Dans les situations où les populations de poissons de capture s'épuisent à ce point, que ce soit en raison de l'évolution du climat, de la surpêche ou d'autres facteurs de stress, il y a des exemples historiques de pêcheurs qui se tournent vers d'autres espèces (Brzeski, 2013). Toutefois, les régimes de réglementation tendent à imposer des limites à ce type de réaction d'adaptation (Charles, 2009; Miller et al., 2010), et Vasseur et Catto (2008) ont fait remarquer la nécessité d'apporter des changements aux régimes de permis pour tenir compte de la possibilité que certaines espèces migrent vers de nouvelles régions ou disparaissent en raison des changements climatiques.

L'évolution du climat impose un stress supplémentaire au secteur des pêches dans son ensemble. Les pêcheurs de la région de la côte Est doivent déjà composer avec les coûts d'entretien et de réparation associés à une infrastructure vieillissante (p. ex. quais et usines de transformation) de même qu'avec les conflits relatifs à l'accès, à la gestion des ports et aux utilisations concurrentes des terres. L'infrastructure existante peut devenir moins utilisable en raison des marées et des ondes de tempête plus hautes et/ou de l'accélération du processus d'érosion en raison de l'action accrue des vagues. Les brise-lames peuvent devenir inefficaces à certains moments du cycle des marées ou plus susceptibles aux effets des ondes de tempêtes fréquentes. Les usines de poisson situées près de la côte peuvent être minées ou déstabilisées par l'érosion ou devenir inefficaces si les quais ne peuvent plus recevoir les débarquements de prises en raison de l'élévation du niveau de la mer. Une évaluation des risques réalisée par le MPO (2012b) pour le bassin de l'Atlantique a cerné les dommages à l'infrastructure (y compris les ports, les brise-lames, les quais, les aides à la navigation) comme la plus grande exposition au risque du Ministère (figure 14). L'impact estimé des dommages liés au climat est très élevé et la probabilité que de tels dommages se produiront passe de modérée à quasi certaine sur une échelle de 10 à 50 ans (MPO, 2012b).

AQUACULTURE

Les changements climatiques présentent des risques et, peut-être, des possibilités pour l'aquaculture, secteur de l'économie régionale en pleine croissance. En 2013, la région de la côte Est a produit 49 % de l'aquaculture du Canada en poids et 45,4 %

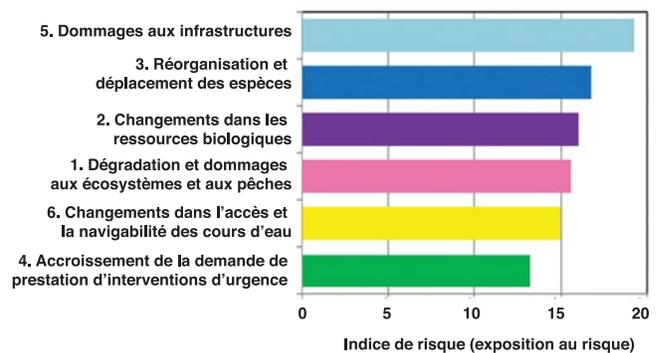


FIGURE 14 : Indice de risque d'adaptation aux changements climatiques sur une échelle de 50 ans pour chacun des six risques cernés par Pêches et Océans Canada (MPO) en ce qui concerne ses activités ministérielles. L'évaluation des risques était fondée sur une opinion d'expert concernant l'ampleur de l'impact (classée de 0 à 5, où 5 est très élevée) et la probabilité de l'impact (également classée de 0 à 5, où 5 est très élevée). L'indice de risque est le produit des classements en matière d'impact et de probabilité du risque. Voir MPO (2012b) pour des détails supplémentaires sur la méthodologie.

en valeur totale (427 millions de dollars; Statistique Canada, 2014b). Terre-Neuve-et-Labrador et l'Île-du-Prince-Édouard sont les premiers producteurs en poids, alors que Terre-Neuve-et-Labrador et le Nouveau-Brunswick sont les premiers producteurs en valeur (tableau 6). Le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) est l'espèce ayant la plus grande valeur. Les mollusques, en particulier la moule bleue (*Mytilus edulis*), sont au cœur de l'industrie de l'aquaculture à l'Île-du-Prince-Édouard, où les larves sont recueillies à l'état sauvage puis cultivées (Feindel et al., 2013).

TABLEAU 6 : Production et valeur aquacoles en 2013 dans la région de la côte Est (Statistique Canada, 2014b). La source fait remarquer que la production et la valeur aquacoles comprennent la quantité et la valeur produites sur des sites et excluent les écloseries et les installations de transformation. Les mollusques comprennent également une certaine production à l'état sauvage. Aucune donnée détaillée au niveau des espèces de poissons à nageoires n'était disponible pour Terre-Neuve-et-Labrador ou pour l'Île-du-Prince-Édouard. Abréviation : N/D, non disponible pour la période de référence en question.

a) Production (tonnes)

Type d'aquaculture	T.-N.-L.	Î.-P.-É.	N.-É.	N.-B.	Qc	Ensemble du Canada
Poissons à nageoires — Saumon	N/D	N/D	6 517	18 837	0	100 027
Poissons à nageoires — Truite	N/D	N/D	203	0	1 262	6 736
Poissons à nageoires — Truite arc-en-ciel	N/D	N/D	0	0	0	682
Autres poissons à nageoires	N/D	N/D	60	0	1	696
Total poissons à nageoires	22 196	N/D	6 780	18 837	1 263	130 337
Mollusques — Palourde	0	0	358	0	0	2 834
Mollusques — Huître	0	2 812	356	739	10	9 509
Mollusques — Moule	4 354	22 894	1 051	41	448	29 080
Mollusques — Pétoncle	0	0	0	5	11	107
Autres mollusques	0	0	203	5	22	230
Total mollusques	4 354	0	1 968	790	491	41 760
Total aquaculture	26 550	25 706	8 748	19 627	1 754	172 097

b) Valeur (milliers de dollars)

Type d'aquaculture	T.-N.-L.	Î.-P.-É.	N.-É.	N.-B.	Qc	Ensemble du Canada
Total poissons à nageoires	181 833	3 229	43 386	117 334	10 854	870 346
Total mollusques	15 139	37 970	10 871	5 724	925	92 549
Total aquaculture	196 972	41 198	54 257	123 058	11 779	962 895

Les changements climatiques toucheront l'aquaculture par le biais de l'acidification, des changements dans la température et les régimes de circulation de l'eau de mer, de la fréquence et de la gravité des phénomènes extrêmes de même que de l'élévation du niveau de la mer et les changements écologiques afférents (Feindel

et al., 2013; Shelton, 2014; Gurney-Smith, 2015; Reid et al., 2015). Les dommages aux infrastructures, la perte de stocks, les changements positifs et négatifs dans les niveaux de production et les coûts d'assurance changeants (tableau 7; Feindel et al., 2013) font tous partie des impacts opérationnels possibles sur l'aquaculture.

TABLEAU 7 : Impacts possibles des changements climatiques sur les espèces cultivées dans le bassin de l'Atlantique (tiré de Feindel et al., 2013 [extrait modifié tiré de Handisyde et al., 2006] et Cochrane et al., 2009).

Moteurs du changement	Impacts sur les systèmes de culture	Impacts opérationnels
Changements dans la température de la surface de la mer	<ul style="list-style-type: none"> saisons de croissance plus longues changements dans les lieux et les aires de répartition des espèces convenables réduction de la mortalité hivernale naturelle amélioration des taux de croissance et de conversion alimentaire diminution de la quantité d'oxygène dissous augmentation des maladies et des parasites augmentation de l'efflorescence des algues nuisibles concurrence, parasitisme et prédation découlant de la modification des écosystèmes locaux, des espèces concurrentes et des espèces exotiques 	<ul style="list-style-type: none"> changements dans les coûts d'infrastructure et d'exploitation augmentation de la biosécurité, des organismes et des espèces nuisibles et des prédateurs expansion de l'aire de répartition géographique des espèces changements dans les niveaux de production
Changements dans d'autres variables océanographiques (vitesse du vent, courants et action des vagues)	<ul style="list-style-type: none"> diminution du taux de renouvellement de l'eau et de la disponibilité d'aliments pour les mollusques changements dans l'abondance des espèces utilisées comme aliments et pour faire de la farine de poisson 	<ul style="list-style-type: none"> accumulation de déchets sous les filets augmentation des coûts d'exploitation
Augmentation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> perte de zones pour l'aquaculture perte de zones offrant une protection physique 	<ul style="list-style-type: none"> dommages aux infrastructures changements dans le zonage pour l'aquaculture augmentation des coûts d'assurance
Augmentation de l'activité orageuse	<ul style="list-style-type: none"> vagues plus grosses ondes de tempête plus hautes changements dans la salinité dommages structureaux 	<ul style="list-style-type: none"> perte de stocks dommages aux installations et aux parcs en filet augmentation des coûts de conception de nouvelles installations et de nouveaux parcs en filet augmentation des coûts d'assurance

Contrairement aux espèces sauvages, les espèces cultivées ne peuvent pas migrer vers des zones qui se prêtent de façon optimale à leur croissance et leur survie. Même si certaines conditions environnementales peuvent être modérées artificiellement dans le cas de certaines espèces (p. ex. des parcs terrestres pour l'omble chevalier), d'autres exigent des parcs *in situ* exposés aux conditions océanographiques locales en matière de température, de salinité, d'oxygène et d'acidité. Les intervalles de tolérance varient considérablement en fonction de l'espèce, des conditions et de l'étape du cycle de vie. Les larves sont les plus sensibles aux changements dans les conditions optimales. Certaines espèces cultivées exigent que les larves soient récoltées à l'état sauvage avant d'être élevées en enclos.

Les impacts de l'acidification des océans sont déjà un enjeu majeur à l'échelle mondiale pour les populations sauvages et cultivées de mollusques marins (Gurney-Smith, 2015). Jusqu'à maintenant, la grande majorité des études nord-américaines sur les espèces commerciales a fait état de réactions négatives (Gazeau et al., 2013). Ces réactions comprennent des déformations de la coquille, des taux de croissance faibles et une mortalité élevée des mollusques bivalves importants du point de vue

commercial, comme la moule bleue (*Mytilus edulis*; Gazeau et al., 2010; Gazeau et al., 2013).

Les recherches sur le saumon de l'Atlantique ont démontré qu'une augmentation moyenne de la température de l'eau de 1 °C pendant le cycle de production diminuera le temps de mise sur le marché d'environ deux mois, diminuant ainsi les coûts de production globaux (Reid et al., 2015). Même si cela semble indiquer que de légères augmentations de la température moyenne pourraient être profitables à la production aquacole, d'autres facteurs de stress doivent également être pris en considération. Par exemple, l'augmentation de la température de l'eau peut augmenter le risque d'infection en réduisant le temps requis par le cycle de vie du pou du poisson (Stien et al., 2005; Reid et al., 2015). Les températures de l'eau plus élevées peuvent également entraîner l'introduction de pathogènes auxquels les stocks génétiques actuels de la région de la côte Est ne sont pas habitués (Reid et Jackson, 2014).

Les programmes de reproduction sélective peuvent constituer une solution d'adaptation (Waldbusser et al., 2010; Quinn et al., 2011), tout comme la recherche génomique visant la sélection aux fins d'amélioration génétique au sein d'une espèce (Zhang et al., 2012; Millar, 2013). Par ailleurs, l'aire de répartition géographique

d'une espèce peut être étendue ou rétrécie, selon l'espèce (Shackell et al., 2013). Une option évidente bien que difficile du point de vue opérationnel consiste à déménager l'industrie vers des eaux plus froides.

Les sites d'aquaculture terrestres et en mer ouverte peuvent être touchés par des événements météorologiques violents, ce qui peut les rendre inaccessibles ou faciliter l'évasion des stocks en enclos. Par exemple, en décembre 2010, les enclos terrestres de l'Oak Bay Hatchery du Nouveau-Brunswick, des sites essentiels pour la production d'œufs et pour le développement et la protection des stocks de géniteurs du saumon de l'Atlantique, ont été inondés et leur accès s'en est trouvé restreint (Reid et Jackson, 2014).

TRANSPORT

Le transport routier, ferroviaire et maritime, ainsi que l'infrastructure connexe, sont des éléments essentiels des économies locales et régionales et de la connectivité sociale au sein des collectivités et entre elles. La plupart des infrastructures et des opérations de transport existantes ont été conçues et construites en fonction des données climatiques historiques et peuvent donc s'avérer inadéquates pour résister aux régimes et aux extrêmes climatiques futurs (Auld et Maclver, 2007). Les routes ont souvent été construites de manière à minimiser le nombre de ponts requis ou le nombre de courbes, en accordant peu d'importance aux dangers liés à l'érosion côtière (p. ex. Drejza, 2010).

Les changements climatiques sont susceptibles d'avoir une incidence considérable sur l'efficacité et la durée de vie des infrastructures dans tout le Canada, en particulier les infrastructures liées au transport et à la gestion des mers et des eaux (Boyle et al., 2013). L'exposition et la vulnérabilité de ces différents types d'infrastructures varient considérablement. Des mesures d'adaptation peuvent améliorer la résilience au climat et entraîner une réduction des coûts au fil du temps. Les impacts locaux associés au temps violent peuvent être coûteux. Par exemple, le ministère des Transports et de l'Infrastructure du Nouveau-Brunswick a indiqué que, par suite des inondations du 26 juillet 2013, les estimations de réparations atteignaient quelque 750 000 \$ pour l'ensemble du comté de Charlotte (Signer et al., 2014).

Le fret routier et ferroviaire dans la région de la côte Est comprend un vaste éventail d'importations et d'exportations (Yevdokimov, 2008), dont une grande partie circule entre le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse par l'isthme de Chignecto (Webster et al., 2012b). La perturbation de cette route de faible élévation bloque des échanges de 50 millions de dollars par jour (Webster et al., 2012b). Des régions comme l'Île-du-Prince-Édouard, la Côte-Nord, l'île d'Anticosti et les îles de la Madeleine au Québec ainsi que Terre-Neuve-et-Labrador dépendent de connexions par pont ou traversier qui sont très exposées aux dangers météorologiques. Au Québec, 60 % des routes provinciales dans les régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent sont situées à moins de 500 m de la côte (Friesinger et al., 2013). Le ministère des Transports du Québec s'inquiète du maintien de ce service essentiel compte tenu des dangers côtiers qui ne cessent de changer et a réalisé plusieurs études à ce sujet (Bernatchez et al., 2010). Le réseau routier est particulièrement important dans l'archipel des îles de la Madeleine parce qu'il assure l'unique lien entre les îles et qu'il risque d'être coupé lorsque des événements majeurs d'érosion côtière se produisent (section 6, étude de cas 5).

Les ports sont un autre élément important du réseau de transport de la région de la côte Est. Il y a 25 ports maritimes industriels qui traitent une grande partie des importations et exportations de produits et de ressources en vrac. Huit de ces ports sont gérés par des administrations portuaires (tableau 8). Les changements dans le niveau de la mer, les conditions de glace de mer et la fréquence des tempêtes violentes auront probablement une incidence sur les activités portuaires de la région. Parmi les effets positifs potentiels des changements climatiques sur la navigation commerciale, on compte l'amélioration de l'accès pour les navires à plus fort tirant à mesure que la profondeur des eaux des ports augmente, de même qu'une réduction de la glace de mer dans le golfe du Saint-Laurent qui aura pour conséquence possible de permettre à plus de navires d'atteindre le port de Montréal et d'emprunter la Voie maritime du Saint-Laurent. Les effets négatifs potentiels pour la navigation sont généralement associés à des dommages causés aux infrastructures portuaires par les phénomènes météorologiques extrêmes (Dillon Consulting et de Romilly & de Romilly Ltd., 2007).

Il peut être difficile d'assurer la planification et la coordination en vue de traiter du sujet des risques posés par le climat pour le transport en raison de la diversité des organismes impliqués. Par exemple, à Halifax, le deuxième plus gros port en eau profonde naturel exempt de glace du monde, le gouvernement fédéral exploite le port d'attache et les installations connexes de la flotte de l'Atlantique de la Marine canadienne et la base des Forces canadiennes de Shearwater où se trouve une escadre du Commandement aérien, de même que des bases de la Garde côtière canadienne et des bureaux d'un éventail de ministères et organismes fédéraux. L'Administration portuaire d'Halifax, un organisme de la Couronne relevant de Transports Canada, supervise les activités du Port d'Halifax. De grandes installations industrielles, comme le chantier naval de l'Irving Shipbuilding Inc., l'infrastructure de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, l'installation de stockage de produits pétroliers de l'Imperial Oil Limited et la centrale de Tuft's Cove, occupent une partie importante des terres proches du rivage (Dillon Consulting et de Romilly & de Romilly Ltd., 2007).

TABLEAU 8 : Tonnage traité par les autorités portuaires de la région de la côte Est (Association des administrations portuaires canadiennes, 2013). Les autorités portuaires représentent 60 % du fret traité par les ports canadiens (Statistique Canada, 2012).

Port	Tonnage traité (millions de tonnes)
Québec (Qc)	29 (2011)
Sept-Îles (Qc)	28 (2012)
Saint John (N.-B.)	28 (2012)
Halifax (N.-É.)	9,5 (2012)
Belledune (N.-B.)	1,9 (2012)
St John's (T.-N.-L.)	1,4 (2012)
Saguenay (Qc)	0,35 (2011)

TOURISME

Les recherches internationales indiquent que les changements climatiques auront des conséquences aussi bien positives que négatives sur un éventail d'activités récréatives côtières (p. ex. visite des plages,

pêche et navigation de plaisance; Coombes et Jones, 2010). Les recettes directes et indirectes du tourisme sont une composante importante de l'économie pour de nombreuses collectivités de la région de la côte Est. Au Nouveau-Brunswick, par exemple, les visites de l'intérieur et de l'extérieur de la province ont apporté une contribution de près d'un milliard de dollars en dépenses liées au tourisme en 2008 (ministère du Tourisme et des Parcs du Nouveau-Brunswick, 2010), dont la grande majorité était liée aux côtes. À l'Île-du-Prince-Édouard, le tourisme est un moteur essentiel de l'activité économique, de l'emploi et des recettes fiscales et représentait 6,9 % du PIB de l'île et 373 millions de dollars de recettes en 2009 (Tourism Industry Association of Prince Edward Island, 2014). La contribution économique des 500 000 touristes à Terre-Neuve-et-Labrador est estimée à quelque 450 à 470 millions de dollars par an et contribue également à l'emploi et à la création de petites entreprises (N. Catto, communication personnelle, 2015). En 2014, le gouvernement du Québec a dévoilé un plan d'action (Stratégie de mise en valeur du Saint-Laurent touristique 2014-2020) visant à promouvoir le tourisme dans les régions du fleuve, de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, où le tourisme est déjà un élément clé des économies locales (Tourisme Québec, 2014). Par exemple, l'afflux de visiteurs aux îles de la Madeleine fait que la population locale double en été.

En examinant les approches de l'adaptation, les chercheurs ont évalué le potentiel de collaboration entre les industries de la pêche et du tourisme afin d'améliorer la stabilité économique générale dans les régions locales. Par exemple, à la baie Bonne, à Terre-Neuve-et-Labrador, les secteurs du tourisme et des pêches sont importants du point de vue économique pour six petites collectivités locales. En améliorant l'expérience locale pour les touristes par des visites de la baie en bateau, en améliorant les services culinaires locaux et en offrant une interprétation historique de la région, l'avenir économique des secteurs du tourisme et des pêches s'est amélioré (Lowitt, 2012). À Chéticamp, en Nouvelle-Écosse, une équipe de recherche pluridisciplinaire a mis au point une trousse d'outils conçue en vue d'aider les secteurs du tourisme et des pêches à s'adapter et à demeurer concurrentiels. Les autorités portuaires de Chéticamp et Grand Étang s'efforcent de diversifier les utilisations des ports afin d'améliorer la résilience, et l'association touristique fait la promotion du tourisme culturel, qui offre des activités à l'intérieur permettant ainsi de remplacer les activités qui dépendent de la température (Brzeski *et al.*, 2013).

5.5.2 SÉCURITÉ PUBLIQUE

Les changements à la qualité de l'eau, les inondations et les extrêmes de température pourraient avoir une incidence sur la santé et le bien-être des résidents locaux. Les inondations peuvent nuire à la capacité d'un groupe de résidents géographiquement isolé d'accéder aux services d'urgence comme les services d'incendie, les services médicaux et les services de police (Muise *et al.*, 2012; van Proosdij, 2013; Masson, 2014). À Windsor (Nouvelle-Écosse), par exemple, une onde de tempête de 1,2 m pendant une marée haute normale inonderait l'accès routier à l'hôpital, y compris les bretelles d'accès à l'autoroute principale liant les collectivités, alors qu'une onde de tempête de 1,8 m empêcherait les véhicules d'intervention d'urgence de quitter leur poste (van Proosdij, 2013). Même lorsque les hôpitaux et les maisons de soins infirmiers ne sont pas directement menacés d'inondation, les infrastructures et les

actifs qui appuient la vie quotidienne, comme les épiceries et les pharmacies, de même que les infrastructures qui répondent aux besoins récréatifs, sociaux et spirituels peuvent être touchés directement ou indirectement (Rapaport *et al.*, 2013).

Les coûts associés aux dangers climatiques peuvent nuire directement au bien-être personnel. Les propriétaires du Canada ne peuvent généralement pas acheter de couverture d'assurance pour les dommages causés par les inondations, y compris celles provoquées par les rivières, les marées, les ondes de tempête ou l'élévation du niveau de la mer. En outre, l'érosion associée aux inondations, y compris l'érosion côtière, n'est pas couverte par les polices de propriétaires types (Sandink, 2011). Des changements de comportement, comme le fait d'éviter de construire ou de vivre dans une zone fortement exposée à ces dangers et de prendre au sérieux les avis d'évacuation, réduiraient les impacts directs sur les personnes.

D'importants coûts financiers tendent à être associés aux phénomènes météorologiques extrêmes. Les catastrophes les plus courantes dans la région de la côte Est sont les inondations, suivies des ouragans et des tempêtes hivernales (Sécurité publique Canada, 2014). Entre 2003 et 2011, les dommages provoqués dans la région par trois ouragans et une tempête hivernale majeure ont entraîné des pertes assurées variant entre 51 millions et 132 millions de dollars (Kovacs et Thistlethwaite, 2014). Les sinistres catastrophiques attribuables à la montée des eaux et aux événements météorologiques, y compris des inondations plus fréquentes causées par la pluie sur la neige et des dégels hivernaux plus fréquents qui, selon toute évidence, seraient susceptibles de donner lieu à des inondations causées par des embâcles et d'avoir des répercussions sur le drainage riverain et estuarien, continueront d'augmenter avec les changements prévus au climat dans la région de la côte Est. En combinaison avec les pressions et les pratiques courantes en matière de développement, cela pourrait donner lieu à des dommages plus graves aux infrastructures bâties et aux services (p. ex. CVIIP, 2008).

5.5.3 CULTURE ET PATRIMOINE

À l'échelle mondiale, la vulnérabilité des ressources archéologiques côtières est bien reconnue (p. ex. English Heritage, 2008; Blankholm, 2009; Marzeion et Levermann, 2014). La région de la côte Est du Canada présente quantité de ressources culturelles et patrimoniales comme des parcs (nationaux, provinciaux, municipaux), des sites de l'UNESCO, des musées, de l'architecture patrimoniale, des sites archéologiques inexploités, des cimetières abandonnés et des sites ayant une valeur esthétique et spirituelle importante. Les changements climatiques peuvent toucher la culture et le patrimoine directement en endommageant des sites, des structures et des paysages ou indirectement par un impact sur les ressources économiques qui pourrait miner les efforts visant à entretenir et préserver le patrimoine culturel. La perspective de perte ou de dommages aux ressources historiques et archéologiques dans les régions sublittorales est souvent plus importante pour la société que les dommages à des structures contemporaines qui peuvent être rebâties.

L'érosion côtière joue un rôle à la fois dans la destruction et la découverte du patrimoine culturel. La région de la côte Est, abrite près de la côte et des cours d'eau des sites de toutes les périodes chronologiques de l'histoire (paléo-indienne, archaïque, sylvoicole [céramique], protohistorique et de contact et historique). En voici des

exemples : Tyron (Î.-P.-É.), Meadford (N.-É.), Sainte-Anne-des-Monts et Marsoui (Qc), Port-au-Choix (T.-N.-L.) et Amherst Shore (N.-É.) pour n'en citer que quelques uns (Chapdelaine, 1996; Bell et Renouf, 2003; Kirstmanson, 2011). Pour les sites comme Pointe-aux-Vieux, à l'Île-du-Prince-Édouard, situés sur un littoral subissant les effets d'une érosion active, la menace constante d'impacts climatiques soulève des enjeux fondamentaux quant à l'identification, à la protection et à la gestion des sites archéologiques. Même s'il serait généralement préférable de laisser certaines parties des gisements archéologiques intactes aux fins d'interprétation par les générations futures, l'érosion graduelle ou une catastrophe entraînera finalement la perte, en totalité ou en grande partie, d'un grand nombre de ces sites (étude de cas 4).

ÉTUDE DE CAS 4

RESSOURCES ARCHÉOLOGIQUES CÔTIÈRES EN PÉRIL

Même si des sites archéologiques côtiers sont inondés par l'élévation du niveau de l'eau dans de nombreuses parties du Canada atlantique depuis des millénaires (Lacroix *et al.*, 2014), la perte ou les dommages récents attribuables aux ondes de tempête et à l'érosion ont fait prendre conscience aux gestionnaires du patrimoine de la possibilité de menaces futures (p. ex. Duggan, 2011; Finck, 2011; McLean 2011). Une étude a permis d'établir qu'un cinquième de tous les sites archéologiques côtiers dans trois régions de Terre-Neuve est très vulnérable à l'élévation du niveau de la mer pour les 15 à 20 prochaines années, y compris des sites historiques nationaux et des sites du patrimoine mondial (Westley *et al.*, 2011). Une étude semblable est en cours sur l'Île-du-Prince-Édouard (Kirstmanson, communication personnelle, 2014). À une échelle plus locale, Parcs Canada a qualifié 16 des 18 régions du lieu historique national de la Forteresse de Louisbourg de vulnérables aux impacts de l'élévation du niveau de la mer au cours du siècle à venir (Duggan, 2011). Le projet d'évaluation des risques pour les ressources archéologiques des zones côtières (Coastal Archaeological Resources Risk Assessment – CARRA), dirigé de l'Université Memorial de Terre-Neuve, vise à raffiner et à élargir les stratégies d'évaluation de la vulnérabilité à l'intention des gestionnaires du patrimoine afin de leur permettre de repérer facilement les sites à risque, de les prioriser aux fins d'action immédiate et d'en apprendre davantage sur la meilleure façon d'intervenir par l'entremise d'une communauté de pratique (Pollard-Belsheim *et al.*, 2014).

Dans la plupart des cas, la communauté de la gestion du patrimoine s'est montrée réactive eu égard aux impacts de l'élévation du niveau de la mer et des changements côtiers. La surveillance régulière de l'érosion des sites archéologiques côtiers est rare et généralement limitée aux zones protégées (p. ex. parcs nationaux) ou aux sites se trouvant à proximité des collectivités. En conséquence, la perte ou l'endommagement de nombreux sites n'est pas détecté. Les mesures prises en réaction à cette situation vont de l'excavation d'urgence pour sauvegarder des sites qui s'érodent rapidement ou qui sont submergés rapidement à la protection des sites par pavage ou articialisation des côtes qui

s'érodent (figure 15). Les mesures de protection sont surtout officieuses et ont eu des résultats mitigés. Dans la baie de Bonavista, à Terre-Neuve-et-Labrador, par exemple, un mur de gabions a protégé efficacement le site de l'île Inspector pendant près de 30 ans, alors que les digues à la mer en bois du site Beaches ont cédé moins de cinq ans après leur installation (figure 16; Pollard-Belsheim *et al.*, 2014). L'adaptation proactive exige la priorisation des sites à risque, un processus qui devrait intégrer les valeurs culturelles, les facteurs socioéconomiques et les commentaires du public (p. ex. Duggan, 2011) à une évaluation des menaces physiques et à l'adoption de plans d'action pour le site qui permettent la mise en œuvre de travaux d'excavation, de protection ou d'abandon.



FIGURE 15 : Cimetière de Malagawatch, N.-É., où des restes humains enterrés ont été entraînés par l'érosion dans la mer à la suite de plusieurs tempêtes. La protection initiale du site faisait appel à un perré (comme on peut le voir en contrebas de la croix). Les tempêtes et l'érosion subséquentes ont mené à la protection temporaire des sépultures par des balles de foin ancrées et une membrane perméable (centre de la photographie). La planification de mesures de protection plus permanentes est en cours. Photo gracieuseté de Heather MacLeod-Leslie.



FIGURE 16 : Deux méthodes de construction différentes utilisées en vue de protéger des sites archéologiques dans la baie de Bonavista, T.-N.-L. : **a)** le mur de gabions construit à l'île Inspector (Pastore, 1987) a réussi à protéger le site pendant trois décennies; **b)** les digues à la mer en bois ont toutes cédé sur le site Beaches. Photo b) gracieuseté d'Anita Johnson-Henke.

L'érosion côtière peut également exposer des ressources archéologiques et paléontologiques auparavant inconnues. Par exemple, l'érosion côtière des falaises fossilifères de Joggins en Nouvelle-Écosse, un site du patrimoine mondial de l'UNESCO, a mené à la découverte récente d'empreintes fossilisées du plus petit tétrapode connu (*Batrachichnus salamandroides*) du Carbonifère (il y a environ 360 à 299 millions d'années; Stimson *et al.*, 2012). De nouveaux fossiles sont exposés à chaque tempête et le défi devient d'accéder à ces nouvelles ressources avant qu'elles ne soient emportées par la marée.

À mesure que les impacts des changements climatiques s'accroissent, il deviendra de plus en plus important de déterminer quels sites patrimoniaux sont les plus menacés et ont la plus grande valeur culturelle et économique (Westley *et al.*, 2011). Par exemple, 60 % de tous les sites archéologiques de L'Anse-aux-Meadows de Terre-Neuve sont considérés comme étant très vulnérables (situés pour la plupart dans la baie Sacred), 16 % sont considérés comme moyennement vulnérables et 24 % sont considérés comme peu vulnérables (Westley *et al.*, 2011). Ce type d'évaluation peut aider à concentrer les efforts de préservation et de récupération ou à comprendre les réalités liées à l'abandon.

Les changements climatiques auront une incidence directe sur les actifs de nombreux parcs de la région de la côte Est (p. ex. Vasseur et Tremblay, 2014), et les plans de gestion commencent à tenir compte de ces risques. Le Parc national de l'Île-du-Prince-Édouard, par exemple, confronté à un taux de recul de 1 m/an et à des tempêtes capables de provoquer une érosion de 10 m d'un seul coup, a accepté un recul planifié comme approche d'adaptation appropriée et s'efforce de maintenir et d'améliorer les processus côtiers naturels en abandonnant des terrains de camping et en déplaçant la route côtière principale vers l'intérieur des terres.

La plupart des communautés des Premières Nations de la région de la côte Est ont des liens traditionnels avec la côte. Par exemple, la baie de Malpèque, à l'Île-du-Prince-Édouard, a joué un rôle essentiel dans la vie des Mi'kmaq pour ce qui est de la récolte d'aliments, le transport et les loisirs, entre autres usages, pendant une longue histoire s'étendant sur des milliers d'années (Charles, 2012). Plusieurs Premières Nations continuent d'occuper des zones vulnérables aux changements climatiques et de compter sur les ressources naturelles côtières. Par exemple, le centre communautaire de la Confédération Mi'kmaq de l'Île-du-Prince-Édouard de Lennox Island occupe une île très susceptible à l'érosion reliée au continent par une courte route en remblai et un pont. Les préoccupations liées aux changements climatiques comprennent l'intrusion possible d'eau salée et les menaces pesant sur les sites archéologiques Mi'kmaq de la région. Ces préoccupations sont abordées dans le cadre d'une étude en cours menée par la Confédération et intitulée : *Adapting the PEI First Nations' Coastal Residences, Infrastructure and Heritage to a Changing Climate on Prince Edward Island* (adaptation des résidences côtières, des infrastructures et du patrimoine des Premières nations de l'Île-du-Prince-Édouard à l'évolution du climat; Mi'kmaq Confederacy of PEI, 2014).

6 ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L'adaptation aux changements climatiques dans la région de la côte Est apporte des avantages économiques directs (voir le chapitre 3) et est importante en ce qui a trait à la conservation

des écosystèmes et des paysages vulnérables de même qu'à la concrétisation d'un développement régional durable. Pour mettre en œuvre l'adaptation, on doit tenir compte de multiples facteurs biophysiques et socioéconomiques qui, ensemble, produisent la complexité inhérente aux côtes et aux collectivités côtières, notamment le climat, la géomorphologie, la dynamique des côtes et les processus environnementaux, juridiques et réglementaires. L'adaptation est un processus qui exige d'évaluer les risques et la vulnérabilité à diverses échelles temporelles, de cerner les options visant à réduire ou éliminer ces risques et d'évaluer ces options en fonction de leur impact sur le voisinage, sur les écosystèmes côtiers et sur l'économie. Souvent, l'adaptation n'est pas un processus individuel, mais concerne plutôt de multiples paliers de décideurs, y compris des membres de la communauté. Les exemples de mauvaise adaptation, soit des actions qui mènent à une augmentation du risque d'impacts climatiques négatifs (GIEC, 2014), sont également nombreux dans la région. Beaucoup de facteurs ont contribué à cette mauvaise adaptation, y compris une compréhension souvent limitée de la dynamique des côtes, les conflits d'intérêts et le manque de connaissances au niveau des options de remplacement (Friesinger et Bernatchez, 2010; Novaczek *et al.*, 2011; Graham *et al.*, 2013; Niven et Bardsley, 2013; Cooper et Pile, 2014).

Les sections suivantes abordent bon nombre des complexités de l'environnement naturel et humain (institutionnel) en ce qui concerne la détermination, l'évaluation et la mise en œuvre des mesures d'adaptation dans la région de la côte Est. Ces analyses constituent souvent la base du choix d'options d'adaptation particulières. Un aperçu des grandes catégories d'adaptation à l'érosion côtière, à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations côtières, avec des exemples issus de la région de la côte Est, précèdent un résumé qui met l'accent sur les orientations futures.

6.1 DÉFI POSÉ PAR UN ENVIRONNEMENT EN MUTATION

Les sections précédentes ont mis en évidence bon nombre des facteurs biophysiques et socioéconomiques qui ont un effet sur les changements dans les environnements côtiers (voir également les chapitres 2 et 3). Comprendre la dynamique de ces environnements est essentiel à l'élaboration de mesures d'adaptation (Spalding *et al.*, 2014). En ce qui concerne les changements au niveau du littoral, l'accélération prévue de l'élévation du niveau de la mer, la diminution de la glace de mer et de la couverture de la banquette côtière ainsi que l'augmentation possible du nombre réel de tempêtes semblent indiquer que les taux d'érosion historiques sous-estiment presque certainement l'importance du recul côtier futur. Dans une étude sur trois zones de la région de la côte Est (les îles de la Madeleine, Percé et Sept-Îles, au Québec), Bernatchez *et al.* (2008a) ont élaboré trois scénarios de position future du littoral d'ici l'an 2050 (étude de cas 5). La modélisation de ces scénarios a contribué à la délimitation de trois zones de recul dont la vulnérabilité à l'érosion côtière varie. Un projet semblable entrepris le long de la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard a incorporé les changements dans la configuration de la côte attribuables à l'exposition et au stress exercé par les vagues sur la côte (MacDonald, 2014).

ÉTUDE DE CAS 5

PLANIFICATION DE LA MOBILITÉ DU LITTORAL DES ÎLES DE LA MADELEINE

Situées au centre du golfe du Saint-Laurent, les îles de la Madeleine sont un archipel de 10 îles (superficie totale d'environ 190 km²) ayant une population d'environ 12 600 personnes. La superficie habitable de l'archipel est limitée, la largeur maximale des affleurements rocheux ne dépassant pas 10 km et leur partie centrale étant souvent haute et abrupte (figure 17). Le tourisme est une composante clé de l'économie locale (section 5.5.1). Les îles de la Madeleine sont vulnérables aux dangers côtiers et l'archipel est particulièrement sensible à l'érosion. L'infrastructure côtière des îles de la Madeleine est menacée par le recul du littoral en plusieurs endroits, y compris le réseau routier principal de l'archipel et les étangs d'épuration des eaux usées de la collectivité principale. Dans son plan directeur, la municipalité des Îles-de-la-Madeleine a cerné 23 zones dans lesquelles l'érosion est un enjeu et où l'adoption de mesures est jugée nécessaire (Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, 2010).

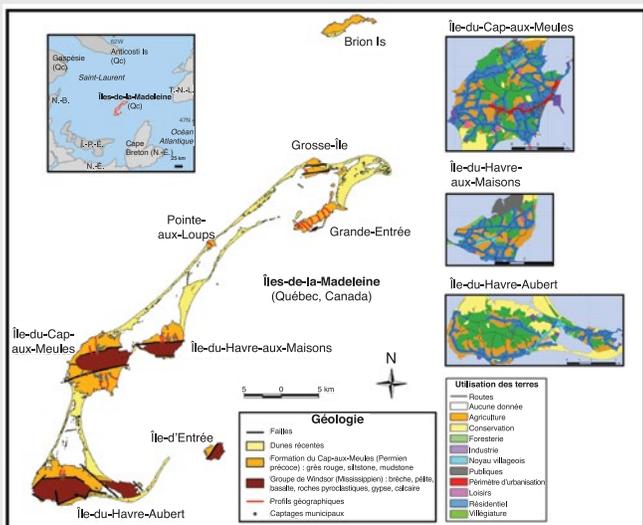


FIGURE 17 : Emplacement, géologie et utilisation des terres des îles de la Madeleine (Rémillard et al., 2012).

L'archipel est plus vulnérable à l'élévation du niveau relatif de la mer que toute autre région du Québec. Cela s'explique en partie par le fait qu'il s'agit d'un environnement microtidal présentant une différence d'environ 1 m seulement de hauteur entre la marée basse et la marée haute. Puisque l'on prévoit que le niveau de la mer autour des îles de la Madeleine sera de 50 à 83 cm plus élevé en 2100 que le niveau actuel, voire 150 cm plus élevé dans le scénario impliquant l'effondrement partiel de l'inlandsis de l'Antarctique occidental (d'après les courbes pour Charlottetown présentées à la figure 5 et à l'annexe A; James et al., 2014; voir également le chapitre 2), la position actuelle de la marée haute pourrait correspondre en gros à la position de la marée basse en 2100. Ce

déplacement de la zone intertidale modifiera la position du trait de côte et touchera les habitats, les écosystèmes côtiers, la dynamique côtière et les taux d'érosion.

Afin d'évaluer les impacts potentiels des changements futurs du climat, Bernatchez et coll. (2008a) ont proposé trois positions possibles du trait de côte pour l'an 2050 (tableau 9). La représentation cartographique de ces scénarios le long des côtes de l'archipel a permis aux intervenants, aux chercheurs et aux membres des groupes de travail de cerner les options d'adaptation propres à des sites prioritaires ciblés. On compte parmi les options envisagées, l'alimentation en sable, une combinaison d'alimentation en sable, d'épis et de pièges à sable éolien là où la route principale est menacée de même que des structures de défense en perré (pierres de protection) là où l'érosion menace le noyau communautaire (figure 18; Savard et al., 2008).

TABLEAU 9 : Scénarios d'érosion préparés pour les collectivités du golfe du Saint-Laurent et employés pour cartographier l'évolution du littoral jusqu'en 2050 (traduit de Savard et al., 2008).

Scénarios pour 2050	Description
S1 : taux de déplacement moyen du trait de côte entre 1931 et 2006	Présume que l'effet des changements climatiques ne modifiera pas les taux moyens de recul du littoral d'ici 2050
S2 : taux d'érosion moyens mesurés pour une période de 10 à 15 ans pendant laquelle l'érosion a été la plus intense entre 1931 et 2006	Estime probable une accélération de l'érosion côtière en raison des changements climatiques
S3 : valeurs moyennes des taux de recul supérieurs à la moyenne pour une période de 10 à 15 ans pendant laquelle l'érosion a été la plus intense entre 1931 et 2006	Estime probable une forte accélération de l'érosion en raison des changements climatiques et de facteurs anthropiques aggravants

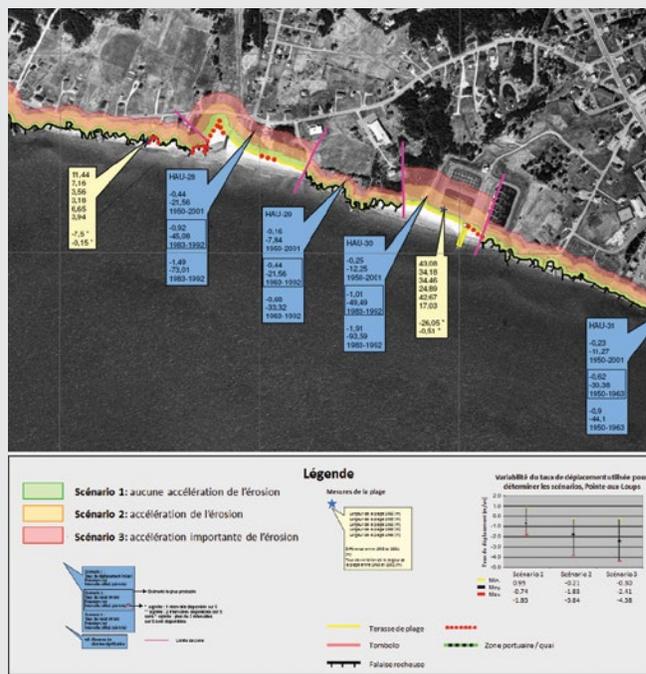


FIGURE 18 : Exemple de scénarios de cartographie numérique et de marges de recul S1, S2 et S3 à Cap-aux-Meules, aux îles de la Madeleine (tiré de Savard et al., 2008).

Leur analyse a conclu que d'ici 2050, les falaises rocheuses des îles de la Madeleine pourraient s'éroder d'environ 38 m (-0,9 m/an) et les côtes sablonneuses pourraient reculer d'environ 80 m (-1,9 m/an; Bernatchez et al., 2008a; Savard et al., 2008). En fonction de ce scénario, beaucoup de sites de l'archipel se trouveront bientôt très menacés, y compris certaines parties de la route principale, où seule une unique crête d'avant-dune sépare la route de la plage exposée à l'ouest, de même que certaines infrastructures communautaires et certains sites touristiques. Le portrait d'ensemble démontre que l'érosion côtière, aggravée par les changements climatiques, est un problème récurrent et grave dans les îles de la Madeleine. Néanmoins, en s'appuyant sur la compréhension de la dynamique côtière et sur l'acceptation de changements inévitables, on a décidé de laisser 95 % du territoire de l'archipel sans protection contre les processus naturels comme l'érosion et les inondations. Cette approche préserve la beauté naturelle de l'archipel, qui est l'un des principaux attraits pour les touristes, et les îles sont suffisamment hautes et vastes pour faire face au recul inévitable du littoral pendant de nombreux siècles. Seuls quelques centres villageois dotés d'infrastructures critiques sont protégés par une combinaison de méthodes de protection structurelles et non structurelles (section 6.3.4).

L'étude de Bernatchez et al. (2008a) représentait une première tentative en vue d'aborder la manière dont la côte locale évoluera au cours du XXI^e siècle, en sachant que le passé n'est pas garant de l'avenir. La poursuite des recherches et la production de documents scientifiques rigoureux sur les réactions des systèmes côtiers aux conditions prévues aideront à mieux appuyer le processus décisionnel.

La gestion du risque, l'analyse et la mise en œuvre de solutions d'adaptation aux changements touchant la côte profitent souvent d'une approche fondée sur des unités côtières homogènes, habituellement des cellules littorales (voir le chapitre 2; Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 2005; de la Vega-Leinert et Nicholls, 2008; Dawson et al., 2009). Les interventions dans un secteur d'une cellule littorale auront des conséquences sur le reste de la cellule (MacDonald, 2014). Le fait de ne pas tenir compte de cet aspect important de la dynamique côtière peut mener à une mauvaise adaptation.

6.2 FACTEURS INSTITUTIONNELS TOUCHANT L'ADAPTATION

Les cadres législatifs et institutionnels définissant la politique terrestre dans les régions côtières peuvent jouer un rôle essentiel au niveau de l'adoption de mesures d'adaptation ou, dans certaines situations, peuvent nuire à l'adoption de telles mesures (p. ex. Doiron, 2012). Les politiques peuvent inclure des désignations de zones protégées pour la biodiversité, des mesures de zonage municipal de même que des plans et stratégies de développement. La majorité des lois, des règlements et des codes de pratique en vigueur aujourd'hui ne tiennent pas compte de l'évolution du climat et gagneraient à être révisés dans l'optique des changements climatiques. En effet, une grande partie de la construction récente dans la région de la côte Est a eu lieu dans des zones de risque élevé

d'inondation, mais respectent pourtant les lois et règlements existants de planification foncière. Il existe toutefois d'importantes exceptions à cette caractérisation générale qui reflètent les progrès récents en matière de planification de l'adaptation (étude de cas 6).

ÉTUDE DE CAS 6

FRONT DE MER MIS EN VALEUR ET LIMITES D'ÉLÉVATION VERTICALE DANS LA MUNICIPALITÉ RÉGIONALE D'HALIFAX

La municipalité régionale d'Halifax (MRH) est la capitale de la Nouvelle-Écosse et est la plus grosse ville du Canada atlantique. La municipalité couvre plus de 5 500 km² et abrite une population de plus de 414 000 personnes (Statistique Canada, 2014a). Le port d'Halifax, au cœur de la MRH, est un port maritime majeur doté d'importantes infrastructures industrielles, militaires et municipales, y compris des actifs importants du point de vue culturel. En réaction à des phénomènes météorologiques extrêmes comme l'ouragan Juan, un ouragan de catégorie 2 qui a provoqué des dommages estimés à 200 millions de dollars en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard en 2003, de même qu'une tempête hivernale majeure en 2004, la MRH a commencé à mettre en œuvre activement des mesures d'adaptation aux changements climatiques (Charles et Wells, 2010). En 2006, le conseil de la MRH a adopté une stratégie de planification municipale régionale, qui incluait en termes explicites des politiques visant à lutter contre les impacts des changements climatiques. La stratégie soulignait que l'information scientifique est la base des processus de planification de l'adaptation, surtout en ce qui concerne la modification du niveau de la mer, les ondes de tempête et la vulnérabilité des côtes, afin d'éclairer la préparation d'un plan d'utilisation du territoire propre au port d'Halifax (HRM Department of Energy and Environment, 2013).

En partenariat avec Ressources naturelles Canada, le bureau de l'énergie et de l'environnement de la MRH a évalué le risque futur d'élévation du niveau de la mer et d'inondation aux environs du port d'Halifax au cours des 100 années à venir en fonction de trois scénarios tenant compte de l'élévation du niveau de la mer actuelle et future, du déplacement vertical des terres, des statistiques sur les niveaux d'eau extrêmes (combinaison de marée et d'onde de tempête), de la remontée des vagues et de la seiche du port (Forbes et al., 2009). La cartographie des zones de danger d'inondation futures (figure 19) a employé un modèle altimétrique numérique à haute résolution s'appuyant sur des données LiDAR.

Les scénarios d'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale utilisés par Forbes et al. (2009) étaient fondés sur les prévisions du Quatrième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC, 2007) et sur de la documentation scientifique ultérieure. Même si ces scénarios sont remplacés par les prévisions présentées dans ce rapport (section 3.1 et voir le chapitre 2), les deux jeux de scénarios couvrent une plage semblable. L'élévation du niveau de la mer de 57 cm présentée à la figure 19 est comparable aux prévisions mises à

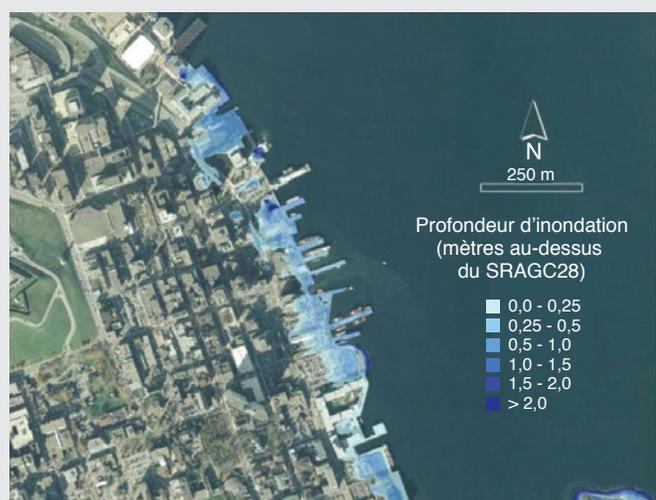


FIGURE 19 : Étendue et profondeur d'inondation (eau morte) pour une élévation de 57 cm du niveau de la mer en fonction d'un événement de niveau d'eau extrême se produisant une fois tous les 50 ans au centre-ville d'Halifax, préparé au moyen d'un modèle altimétrique numérique de données recueillies par détection et télémétrie par ondes lumineuses (LiDAR) superposé sur une photographie aérienne numérique (Forbes *et al.*, 2009).

jour de l'élévation du niveau relatif de la mer pour 2010 à 2100 à Halifax de 60,6 cm pour le RCP4.5 (médian) et de 84,7 cm pour le RCP8.5 (médian; James *et al.*, 2014, 2015). Il s'agit donc d'un scénario plutôt prudent.

En s'appuyant sur les analyses disponibles et en adoptant une approche prudente, le règlement administratif sur la stratégie de planification municipale et d'utilisation des terres (*Municipal Planning Strategy and Land Use By-Law*) pour le front de mer du centre-ville d'Halifax stipule que le rez-de-chaussée de tout développement doit se trouver à au moins 2,5 m au-dessus de la ligne des hautes eaux ordinaire. Des dispositions ont été prises pour ajuster ce chiffre en fonction d'une surveillance et d'une analyse constantes de l'élévation du niveau de la mer. Il s'agit d'un exemple de mesure d'adaptation ajustée progressivement à mesure que de nouveaux renseignements deviennent disponibles. Entre-temps, le personnel de la MRH a utilisé des ententes de développement (c.-à-d. des contrats bilatéraux entre la municipalité et le propriétaire foncier) pour de nombreuses parcelles riveraines afin d'encourager une mise en valeur sécuritaire en attendant l'achèvement d'un plan d'adaptation officiel (Charles et Wells, sans date).

D'après les constatations de Forbes *et al.* (2009), Xu et Perrie (2012) ont modélisé la remontée extrême des vagues dans le port d'Halifax. Même si les promoteurs de développement ne sont actuellement pas tenus de démontrer que les effets des vagues extrêmes et de leur remontée ont été incorporés dans la conception et les études techniques de leurs projets, les renseignements de cette étude pourraient être pris en considération dans des modifications aux règlements d'utilisation des terres. Par exemple, les promoteurs de développement pourraient être obligés de réaliser des études sur les vagues propres au site et de démontrer que des mesures d'adaptation appropriées ont été incorporées dans la conception générale (HRM Department of Energy and Environment, 2013).

La disponibilité d'un modèle altimétrique numérique à haute résolution pour un paysage urbain côtier complexe comme celui de la MRH a permis de mieux mobiliser la collectivité et de visualiser les dangers. Il aide à délimiter les zones de vulnérabilité et la priorisation des sites aux fins de protection, de déplacement et d'application des marges de recul. Les marges de recul peuvent être mises à jour à mesure que de nouvelles données et de nouveaux renseignements deviennent disponibles.

Les marges de recul verticales et horizontales sont des mécanismes utiles lorsqu'il s'agit de promouvoir l'adaptation, et leur utilité ne se limite pas aux grandes municipalités. Par exemple, le conseil municipal de Beaubassin-Est, au Nouveau-Brunswick, a adopté un règlement de zonage mis à jour en mars 2011 afin d'améliorer la protection des nouvelles constructions dans sa zone côtière (Eyzaguirre et Warren, 2014). Le règlement exige que l'élévation minimale du rez-de-chaussée de tout nouveau bâtiment se trouve à au moins 1,43 m au-dessus de la ligne actuelle d'inondation se produisant une fois tous les 100 ans afin de tenir compte de l'élévation prévue du niveau de la mer (Doiron, 2012). Toutes les conditions de zonage préalables demeurent en vigueur. À l'Île-du-Prince-Édouard, les marges de recul côtières sont régies par la loi en fonction des taux d'érosion mesurés (1958, 2000 et 2010), auxquels viennent s'ajouter des observations sur le terrain. Les terres humides et les cours d'eau près des falaises doivent être protégés par une zone tampon de 15 m ou 60 fois le taux d'érosion de cette section, selon la plus grande des deux distances (Arlington Group *et al.*, 2013; Weissenberger et Chouinard, 2015). Au Québec, la construction est interdite en-deçà de la ligne des hautes eaux en vertu d'une politique sur la protection des grèves, des zones littorales et des plaines inondables. Même si la construction dans la plaine inondable est permise, aucun espace habitable, aucune porte ni aucune fenêtre ne peut se trouver sous le niveau d'une inondation se produisant une fois tous les 100 ans (Weissenberger et Chouinard, 2015).

Il existe des possibilités d'intégration des éléments d'adaptation côtière et/ou d'adaptation aux changements climatiques dans les lois, les politiques et les pratiques existantes, y compris les codes du bâtiment et les codes de pratique des ingénieurs, des planificateurs et des architectes-paysagistes. Dans la plupart des compétences, les municipalités et les autres organismes de gestion du territoire identifient les zones de risque d'érosion, de glissement de terrain et d'inondation. Les municipalités du Québec, de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve-et-Labrador doivent préparer des plans de sécurité publique qui sont intégrés dans leur politique foncière et leur plan de gestion du territoire. Ces plans peuvent jouer un rôle important dans la promotion de l'adaptation s'ils sont préparés par des personnes qui comprennent l'incidence des changements climatiques sur les dangers côtiers.

Modifier les cadres juridiques et réglementaires tend à être un processus lent. L'un des premiers exemples de planification en vue de la modification des côtes est la *Politique de protection des zones côtières* du Nouveau-Brunswick, élaborée en 2002 en réaction aux facteurs de stress menaçant la sécurité publique, l'infrastructure, les terres agricoles et la biodiversité de

la flore et de la faune dans la région. Cette politique indique les caractéristiques des côtes sensibles, leur permettant de continuer de se développer de manière naturelle et d'entretenir leur capacité d'absorption, puis stipule une zone tampon de 30 m commençant au point où la zone côtière dynamique pénètre le plus à l'intérieur des terres (figure 20; Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002) et où l'activité et la mise en valeur sont limités. Même si elle était proactive et innovatrice lorsqu'elle a été instaurée, les difficultés dans sa mise en œuvre ont été constantes et, en 2013, elle n'avait toujours pas force de loi (Weissenberger et Chouinard, 2015). Des mesures provisoires sont parfois employées pendant que des changements réglementaires d'ordre plus général sont étudiés. Au Québec, un règlement provisoire a été adopté en vue d'interdire la construction dans les zones de risque côtières de la Côte-Nord, de Québec à Blanc-Sablon (étude de cas 7). Le règlement est assujéti à un examen et un ajustement à mesure que de nouvelles connaissances scientifiques sont disponibles.

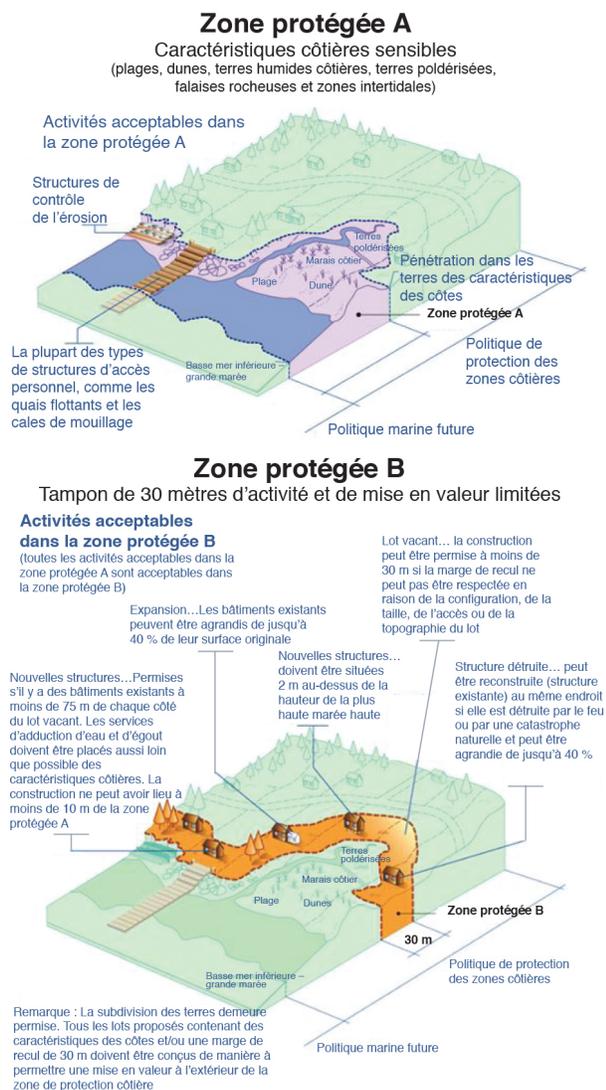


FIGURE 20 : Zones A et B de la Politique de protection des zones côtières du Nouveau-Brunswick (Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002).

ÉTUDE DE CAS 7

ABORDER LA QUESTION DE L'ÉROSION CÔTIÈRE À SEPT-ÎLES, AU QUÉBEC

La Municipalité de Sept-Îles, au Québec, compose avec l'érosion et le changement côtier, liés aux processus naturels et aux influences humaines, depuis des décennies (Bernatchez et Dubois, 2004; Bernatchez et Fraser, 2012). À la fin des années 1990, la municipalité a commandé une étude détaillée sur la question de l'érosion de même qu'un plan de gestion côtière axé sur des solutions intégrées (Dubois et al., 2005). L'évaluation scientifique de quatre ans (2000 à 2004) qui en a découlé a conclu que l'érosion côtière s'était accélérée au cours des dernières décennies, que les interventions humaines sur la côte amplifiaient les taux d'érosion naturels et que les changements climatiques étaient susceptibles d'accélérer l'érosion à l'avenir (Dubois et al., 2005). Une étude de suivi (2005 à 2008), dirigée par le consortium Ouranos et le ministère de la Sécurité publique du Québec, a évalué la vulnérabilité des collectivités côtières le long des côtes orientales de la province, y compris la municipalité de Sept-Îles (figure 21). L'étude a employé une approche participative, tenant compte des points de vue des intervenants et transférant les données scientifiques sur le climat aux décideurs afin de faciliter une approche de gestion côtière intégrée et de cerner des options d'adaptation (Savard et Bourque, 2008, 2010; Savard et al., 2009). Les représentants des intervenants locaux ont été invités à participer à une série d'ateliers d'une journée visant à cerner des solutions d'adaptation. L'approche exigeait que les décisions soient prises à l'unanimité (Savard et al., 2008; Savard et Bourque, 2010).

L'étude a mis en évidence que les changements dans la fréquence des tempêtes entraînent un recul important des côtes sablonneuses, que le nombre accru de dégels hivernaux intensifie les processus de gel et de dégel sur les falaises d'argile, que les diminutions de la couverture saisonnière de glace de mer dans le golfe du Saint-Laurent accroissent la formation de vagues hivernales énergiques qui atteignent la côte et que tous ces facteurs liés au climat agissent dans le contexte d'une élévation du niveau de la mer. L'étude a mené à la tenue de nombreux événements, réunions et consultations auprès des représentants de la collectivité, des décideurs municipaux et gouvernementaux et des membres du comité scientifique de l'étude.

La documentation scientifique et la consultation auprès des intervenants de la collectivité engendrées par l'étude ont joué un rôle décisif dans l'adoption de mesures de contrôle dans la municipalité régionale de comté de Sept-Rivières, mesures que se doit de respecter la Ville de Sept-Îles (Municipalité régionale de comté de Sept-Rivières, 2005; Ressources naturelles Canada, 2015). Ces mesures sont les suivantes :

- adoption d'une marge de recul de sécurité calculée sur une période de 50 à 100 ans, selon qu'il s'agit de terres publiques ou privées
- élaboration de scénarios d'érosion future (2050) pour cerner les options d'adaptation appropriées
- moratoire sur l'installation de structures de protection

traditionnelles (perrés, murs de béton, murs de bois, épis, revêtements)

- moratoire sur toute augmentation de la surface habitable des bâtiments dans les zones de non-construction désignées.

Ce règlement est maintenant pleinement en vigueur dans l'ensemble de la province de Québec. Des représentants du gouvernement provincial, de la Municipalité régionale de comté et de la Ville de Sept-Îles travaillent à préparer un plan directeur d'intervention côtière afin de composer avec les problèmes d'érosion et de gestion côtière à court, moyen et long termes (Ressources naturelles Canada, 2015). Par exemple, la Municipalité a décidé de déplacer une partie de la population côtière résidant sur une falaise sablonneuse située le long de la côte du golfe dans l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite.

La dernière composante de l'étude était une analyse coûts-avantages sur une période de 25 ans (2008 à 2032) portant sur les options d'adaptation cernées dans le cadre du processus

de consultation (Tecsult Inc., 2008). Les options étudiées, qui variaient d'un endroit à l'autre, étaient l'alimentation en sable, le pavage rocheux linéaire, une combinaison d'épis et d'alimentation en sable, la végétalisation et le déménagement planifié. L'analyse a démontré que les scénarios d'adaptation optimaux étaient ceux favorisant l'alimentation en sable ou le déménagement planifié. En vertu du Cadre de prévention des principaux risques naturels, le ministère de la Sécurité publique du Québec disposait de fonds spécialement affectés à l'adaptation à l'érosion côtière. On a approuvé en vertu de ce programme l'octroi à la Municipalité régionale de Sept-Îles d'un financement pour un projet d'alimentation en sable de 8 millions de dollars, la municipalité devant fournir 25 % du financement (environ 2 millions de dollars). On a proposé un prélèvement d'impôt pour lever les fonds, mais l'administration locale a éprouvé de la difficulté à obtenir l'appui du public puisque le prélèvement aurait été appliqué à tous les résidents, alors que seuls les propriétaires de terrains en front de mer étaient perçus comme des bénéficiaires du projet (Arlington Group et al., 2013).

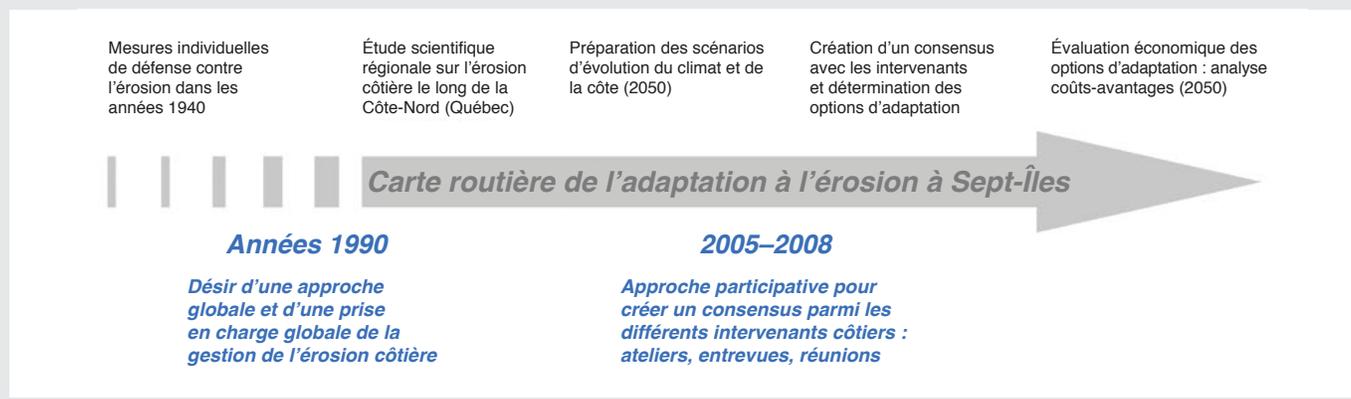


FIGURE 21 : Principales actions et interventions dans le processus menant à l'adaptation à l'érosion à Sept-Îles, au Québec.

La disponibilité du financement est un autre exemple de contrôle administratif sur l'adaptation. Il est souvent plus facile d'obtenir du financement pour des projets d'ingénierie lourde, comme les ouvrages longitudinaux et les perrés, plutôt que pour des options plus souples comme l'alimentation des plages et la restauration des dunes ou des marais, qui exigent un financement continu à long terme (même si le rapport coûts-avantage peut être supérieur à celui associé aux méthodes de protection structurelle; Spalding et al., 2014). Un certain financement peut être disponible par le biais de moyens comme les projets de compensation d'habitat pour la perte d'habitats aquatiques en raison de la construction d'infrastructures, ces projets de restauration de terres humides côtières ayant comme but premier de créer des habitats (Bowron et al., 2012). Le manque d'appui du public peut également faire obstacle au financement des mesures de mise en œuvre (étude de cas 7).

6.3 OPTIONS D'ADAPTATION CÔTIÈRE

Même si les mesures d'adaptation particulières sont variées, les options d'adaptation dans les zones côtières peuvent être groupées en quatre grandes catégories : aucune intervention

active, évitement/retrait, accommodement, protection, ou une combinaison de ces approches (voir le chapitre 3; Chouinard et al., 2008; Vasseur et Catto, 2008; Pilkey et Young, 2009; Linham et Nicholls, 2010; Nicholls, 2011; Burkett et Davidson, 2012; Arlington Group et al., 2013; Macintosh, 2013; Niven et Bardsley, 2013). Il peut être particulièrement difficile de déterminer les mesures d'adaptation appropriées pour les environnements côtiers situés entre des zones urbaines et des zones relativement naturelles. Il existe un vaste éventail d'options d'adaptation réalisables lorsque la côte est occupée par des peuplements de faible densité, comme une ligne de chalets, de maisons ou d'actifs commerciaux de banlieue. Une expansion urbaine linéaire rapide, souvent appelée urbanisation linéaire, s'est produite le long de nombreuses sections de la côte dans cette région au cours des dernières décennies, ce qui se traduit par la mise en péril d'actifs économiques importants par les dangers côtiers et qui aggrave le phénomène de compression côtière (section 4.8).

6.3.1 AUCUNE INTERVENTION ACTIVE

S'abstenir d'une intervention active peut constituer une réaction d'adaptation appropriée lorsque, d'après une compréhension

approfondie des risques encourus, les décideurs choisissent de ne prendre aucune mesure pour l'instant. Il peut être approprié de n'exécuter aucune intervention active lorsqu'il n'existe pas de risque important, lorsque peu de choses peuvent être faites de manière réalisable pour réduire ou éviter les impacts des dangers côtiers ou lorsque la prise de mesures immédiates constitue une mauvaise allocation des ressources eu égard à la possibilité d'une menace future. Comme on l'a décrit dans l'étude de cas 5, un processus rigoureux de planification de l'adaptation pour les îles de la Madeleine a mené à la décision de n'effectuer aucune intervention active sur 95 % du territoire de l'archipel.

6.3.2 ÉVITEMENT ET RETRAIT

L'option d'évitement et de retrait exige de cerner les zones de risque et de définir où la mise en valeur sera interdite, tout en permettant aux habitations et aux infrastructures existantes menacées d'être déplacées vers des zones plus sécuritaires. Ces options sont le plus souvent proposées afin de préserver les paysages naturels et les écosystèmes côtiers, et sont appliquées dans les régions où il y a peu d'actifs d'infrastructure côtière. Par exemple, le Parc national de l'Île-du-Prince-Édouard a acquis 12,5 km² de terrain au milieu des années 1970 le long de la partie terrestre de la limite du parc pour compenser les pertes de territoire le long de la côte. Ces terrains sont maintenant gérés comme une zone tampon afin de déplacer graduellement l'infrastructure côtière à mesure que le trait de côte se déplace vers l'intérieur des terres (Parcs Canada, 2007). Dans les centres urbains, où sont concentrés les actifs les plus importants, les options de retrait sont difficiles parce que l'espace manque pour procéder à un tel accommodement et en raison du coût énorme d'un tel retrait, tant du point de vue économique que culturel.

Même à l'extérieur des centres urbains, l'évitement et le retrait peuvent ne pas être des stratégies privilégiées de façon générale en raison de facteurs économiques à court terme. Les terres côtières sont souvent une source de revenus importante pour les municipalités et le fait de laisser ces terres inoccupées par des activités produisant directement des recettes est souvent perçu comme un facteur économique négatif. Un autre inconvénient de l'évitement est que les installations et les gens sont souvent déjà présents dans la zone de risque élevé (Lieske et Borneman, 2012; van Proosdij *et al.*, 2014). La consultation et l'information du public sont particulièrement importantes si l'on veut assurer une adaptation réussie par l'évitement et le retrait (Savard et Bourque, 2010; Drejza *et al.*, 2011).

L'évitement et le retrait dans la région de la côte Est comprennent également un réalignement géré dans les zones poldérisées, comme la partie supérieure de la baie de Fundy. Ce concept a suscité un intérêt accru au cours des dernières années lorsqu'on a reconnu que le coût d'entretien du système de digues existant en Nouvelle-Écosse et au Nouveau-Brunswick n'est pas viable (Lieske et Borneman, 2012; van Proosdij et Page, 2012; Wilson *et al.*, 2012; van Proosdij, 2013). Même si la plupart des projets de restauration des marais salés de la baie ont été réalisés à titre de compensation de l'habitat (van Proosdij *et al.*, 2010; Bowron *et al.*, 2012), on s'intéresse de plus en plus à optimiser le potentiel d'adaptation de ces projets tout en améliorant les services écosystémiques (van Proosdij *et al.*, 2014). Une surveillance étroite de projets choisis de restauration des marais salés a démontré une

recolonisation rapide par la végétation et, par conséquent, une amélioration du potentiel de dissipation de l'énergie des vagues, une fois les flux des marées rétablis. La vitesse de ce rétablissement n'est toutefois pas uniforme du point de vue spatial (Millard *et al.*, 2013; van Proosdij *et al.*, 2014).

6.3.3 ACCOMMODEMENT

Les réactions d'accommodement cherchent à atténuer les risques posés par les dangers côtiers sans modifier fondamentalement l'utilisation des terres en permettant des impacts occasionnels à court terme (p. ex. impacts de tempêtes ou d'inondations saisonnières). L'accommodement est une réaction appropriée lorsque les coûts économiques, environnementaux ou sociaux de la protection des actifs côtiers l'emportent sur le caractère pratique de cette protection et/ou lorsque l'efficacité des mesures de protection serait limitée à une période relativement courte (voir le chapitre 3).

Dans la région de la côte Est, il y a quelques exemples de structures prévues pour composer avec l'élévation du niveau de la mer ou les ondes de tempête, comme des habitations ou d'autres bâtiments construits sur pilotis ou des bâtiments modulaires conçus de façon à être déplacés facilement (Vasseur et Catto, 2008; Doiron, 2012). Une gestion des eaux pluviales qui réduit le ruissellement (p. ex. rigoles de drainage végétalisées et espaces verts), accroît l'adduction (p. ex. dragage de chenaux et conception technique de systèmes de drainage ayant recours à des tuyaux de ponceau de taille appropriée aux exigences créées par les changements climatiques) et améliore le stockage (p. ex. bassins de rétention des eaux pluviales et jardins pluviaux) peut être une option d'accommodement qui joue un rôle très important dans la lutte contre les inondations. Par exemple, l'évaluation du plan de gestion des eaux pluviales de 2003 de Stratford, à l'Île-du-Prince-Édouard, a déterminé que de nombreux tuyaux de ponceau de la ville ne pourraient pas prendre en charge les changements prévus dans l'intensité des pluies associés aux changements climatiques et qu'il fallait améliorer la capacité de drainage afin de recevoir une quantité plus élevée de ruissellement. L'augmentation de la taille des tuyaux de ponceaux peut ne pas être bénéfique puisque des écoulements de drainage plus forts et plus importants pourraient entraîner une érosion accrue. On a plutôt proposé de combiner l'amélioration des tuyaux, la création de stockage supplémentaire dans les bassins hydrographiques tributaires, l'abandon et l'installation de systèmes appropriés de protection contre les inondations et d'avertissement de danger dans des zones choisies afin de diminuer les menaces et les dommages pour les résidents (CBCL Limited, 2012).

L'accommodement comprend l'acceptation de l'inondation temporaire de l'infrastructure non critique (p. ex. inondation de routes secondaires lorsqu'il existe d'autres routes d'accès pour les services d'incendie et les autres services essentiels). Des études coûts-avantages peuvent être utilisées afin d'évaluer le coût de la modification ou du déplacement de la route par opposition à l'acceptation d'une fermeture ou de réparations occasionnelles pendant plusieurs décennies. L'amélioration de la prévisibilité des phénomènes extrêmes peut permettre l'adoption de mesures comme l'évacuation des personnes à risque et la protection temporaire des bâtiments et des propriétés avant une grosse tempête.

6.3.4 PROTECTION

La protection consiste en diverses méthodes de défense des actifs côtiers contre la mer (érosion et inondation). Elle peut prendre différentes formes, allant de méthodes « structurelles » ou rigides, comme des digues, des perrés, des murs, des gabions et des épis, à des méthodes « non structurelles » ou souples, comme l'alimentation des plages, la végétalisation et le reprofilage des dunes, qui permettent aux processus côtiers de reprendre de façon naturelle.

Les données sur la longueur et le type de protection côtière par des « méthodes structurelles » tendent à être incomplètes et sont souvent désuètes pour la majeure partie de la région de la côte Est (p. ex. Bérubé, 1993; Bérubé et Thibault, 1996; Breau, 2000; Dubois et al., 2005; Bernatchez et al., 2008a; Catto, 2012). L'exception est l'Île-du-Prince-Édouard, où la côte entière a été cartographiée par Davies (2011). Les approches de protection structurelles sont utilisées depuis longtemps, et les estimations du pourcentage de la côte protégée de cette manière sont généralement de moins de 15 % dans les études locales. Les enrochements (c.-à-d. pierres lourdes ou béton) sont de loin la méthode la plus employée. Parmi les autres types courants de structures de protection structurelles dans la région de la côte Est, on compte les ouvrages longitudinaux de bois ou de béton, les murs de rétention (c.-à-d. gabions, parois de palplanches ou encaissements de bois), les revêtements (c.-à-d. utilisation de divers matériaux pour couvrir la pente côtière) et les épis de pierre, de blocs de béton ou de pieux de bois enfoncés dans la plage (figure 22). Près des ports, les jetées, les épis et les digues à la mer sont les structures dominantes et sont principalement constitués de dolosse ou de tétrapodes de béton, ou encore de pierres lourdes (Jennings et al., 2008).

On peut encore trouver en certains endroits de plus anciennes structures de défense fabriquées maison, mais leur utilisation diminue en faveur des structures d'ingénierie lourde (Bérubé et Thibault, 1996). Les mesures de protection structurelle pour la défense des côtes sont utilisées pour protéger les infrastructures publiques (c.-à-d. ports, zones portuaires, routes et front de mer municipal) et sont également utilisées par les propriétaires fonciers privés pour protéger leurs terres et leur propriété contre l'érosion. Le nombre de structures individuelles de défense de la côte dépasse de beaucoup le nombre de ports et des ports pour petits bateaux le long des côtes nord et est du Nouveau-Brunswick (figure 23; Breau, 2000). Sur la Côte-Nord du Québec, seulement un tiers des 91 km de côte artificielle cartographiée a été attribué aux activités portuaires, le reste étant attribué à la protection côtière publique et privée (Dubois et al., 2005).

La longueur totale des structures de défense sur la côte a augmenté de manière constante, parfois exponentielle, pendant la période couverte par les photographies aériennes. Dans le sud-est du Nouveau-Brunswick, O'Carroll et al. (2006) ont documenté que la protection des côtes était 10 fois plus importante en 1971 qu'en 1944, et 22 fois plus importante en 2001 qu'en 1971. Des tendances semblables ont été notées par rapport à la protection des côtes dans la région de Percé (Péninsule de la Gaspésie, au Québec) et les zones résidentielles entourant Sept-Îles (Bernatchez et Fraser, 2012). La protection des côtes aux environs de Sept-Îles a connu sa plus forte augmentation entre les années 1970 et les années 1990, et a depuis considérablement ralenti.



FIGURE 22 : Structures de protection côtière communément utilisées dans la région de la côte Est (tiré de Jennings et al., 2008) : **a)** enrochement bordant les lieux de sépulture ancestraux de Malagawatch, au sud-ouest du lac Bras d'Or, N.-É. (S. O'Carroll, Geo Littoral Consultants); **b)** ouvrage longitudinal, à la Première Nation d'Eel River Bar, au nord-est du Nouveau-Brunswick (D. Bérubé, Ministère de l'Énergie et des Mines du Nouveau-Brunswick); **c)** revêtement, à Mispec, au sud-ouest du Nouveau-Brunswick (D. Bérubé, Ministère de l'Énergie et des Mines du Nouveau-Brunswick); **d)** mur de rétention, à Maria, en Gaspésie, au Québec (Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski); **e)** épi, à Paspédiac, en Gaspésie, au Québec (Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski); **f)** digue à la mer, à la pointe Lebel, sur la côte nord de l'estuaire du Saint-Laurent, au Québec (Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski).

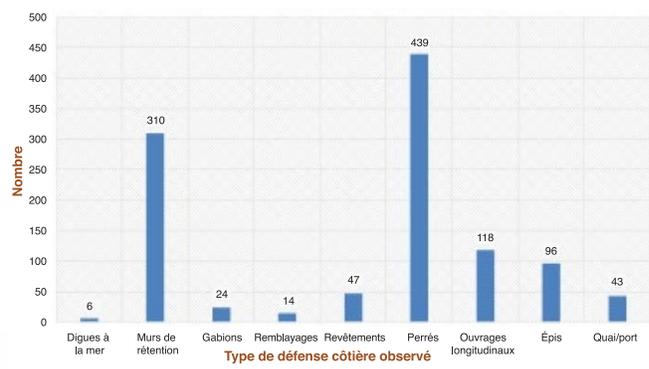


FIGURE 23 : Inventaire des structures de défense côtière le long des côtes nord et est du Nouveau-Brunswick (Breau, 2000).

Si les mesures de protection structurelles ne sont pas convenablement conçues, disposées et entretenues, elles peuvent entraîner une mauvaise adaptation : plutôt que de diminuer la vulnérabilité, elles peuvent en fait aggraver la situation, en particulier pour les propriétaires de terres adjacentes. On remarque au nombre des effets négatifs les plus communs, les changements dans le budget de sédiments local, qui peuvent entraîner une érosion accélérée en aval et contribuer à un déficit de sable ou activer des transferts de sable. Pour ces raisons, on a rarement recours à la construction de nouvelles mesures emprisonnant le sable comme les épis sur les terres de la Couronne au Nouveau-Brunswick (Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, 2014). Parmi les autres effets localisés, il faut mentionner l'abaissement et, parfois, la perte de plages et de replats devant l'ouvrage longitudinal (Bernatchez *et al.*, 2008b, 2011; Bernatchez et Fraser, 2012). L'abaissement de la zone intertidale accroît la vulnérabilité aux inondations. Pendant les tempêtes, les ondes de tempête font augmenter la profondeur de l'eau, ce qui permet à des vagues plus hautes et plus énergiques d'atteindre la grève. Ces situations peuvent entraîner la submersion des structures de protection comme les digues et les ouvrages longitudinaux (Bernatchez *et al.*, 2011).

Le renforcement du trait de côte au moyen de structures de protection côtières rigides et linéaires peut également entraîner une perte rapide de biodiversité et contribuer à la compression côtière en coinçant les habitats et les écosystèmes côtiers entre la mer montante et les obstacles créés par l'homme vers la terre (section 4.8). Un autre inconvénient des mesures de protection structurelles est qu'elles sont généralement irréversibles. Une fois que de lourdes structures de pierre ou de béton sont en place, il peut être difficile de changer la stratégie de protection de la côte en raison du coût élevé de l'enlèvement des structures et du fait qu'une telle démarche laisse souvent la côte dans un état de vulnérabilité accrue jusqu'à ce que l'équilibre de l'état naturel soit rétabli. Dans les cas où l'infrastructure côtière ne peut pas être enlevée, des approches techniques convenablement conçues s'imposent.

Les méthodes de protection non structurelles n'ont été utilisées que rarement dans la région de la côte Est. Un exemple est l'utilisation de sable issu du dragage des ports de pêche par le ministère des Transports du Québec pour alimenter les plages le long des routes menacées par l'érosion sur les îles de la Madeleine (étude de cas 5). Cette méthode a convenablement protégé les routes depuis 2007 sans que l'on ait observé d'impact sur l'environnement. Le sable présente les mêmes caractéristiques que celui de la plage locale, puisqu'il provient de la dérive littorale voisine. Cette réutilisation du sable de dragage est un exemple de solution de rechange aux structures de protection structurelles. On peut également combiner des méthodes en vue de réduire l'énergie des vagues, par exemple des épis dégradables rechargés de sable (figure 24), des dispositifs de piégeage des dunes de sable ou la protection et/ou la replantation de l'ammophile à ligule courte (Restore America's Estuaries, 2015).



FIGURE 24 : Côte hybride vivante sur la rivière Shubenacadie, dans la baie de Fundy, en Nouvelle-Écosse, illustrant des gabions replantés de végétation des marais dans le but de réduire l'affouillement par érosion. Photo gracieuseté de V. Leys, août 2015.

6.4 RÉPERCUSSIONS ET ORIENTATIONS FUTURES

La région de la côte Est présente des possibilités considérables d'amélioration de la capacité d'adaptation aux changements climatiques et de mise en œuvre de mesures d'adaptation efficaces pour contrer les risques côtiers. Les étapes de base sont de sensibiliser, de mobiliser et d'habiliter les intervenants, d'examiner et d'ajuster les lois et les codes de pratique au besoin, d'améliorer la coopération intergouvernementale et d'aborder les différences dans les capacités d'adaptation régionales et locales. L'adaptation est à la base un processus social qui entraîne une modification d'habitudes de longue date. Des progrès ont été accomplis. Par exemple, les lignes directrices récemment préparées qui permettent aux ingénieurs de reconnaître que la période de récurrence des phénomènes extrêmes change au fil du temps.

La plupart des pratiques de gestion côtière dans la région de la côte Est ont été mises en œuvre avant que les changements climatiques aient été reconnus comme un enjeu et que le concept de l'adaptation aux changements climatiques ait été élaboré. Les approches les plus courantes pour aborder le sujet de l'érosion côtière et des inondations par les ondes de tempête ont été l'utilisation de méthodes de protection structurelles et le retrait des zones de risque. En conséquence de l'évolution du climat, la région de la côte Est est confrontée à de nouveaux défis et devra envisager de nouvelles façons de gérer les risques afférents. Les chercheurs et spécialistes en adaptation côtière du monde entier ont présenté des rapports sur les divers défis touchant les utilisations conflictuelles, l'équité financière, les processus d'intégration et de consultation, la mise en valeur, la gestion de l'incertitude, les perceptions, la volonté et le leadership politiques, le cadre réglementaire et la structure de gouvernance.

Des exemples de manières innovatrices de relever ces défis commencent à apparaître. Par exemple, en ce qui concerne les processus de consultation, le Québec a établi une série de groupes régionaux servant de tribune grâce à laquelle il est possible de réunir les principaux participants et d'aborder les questions de la gestion des utilisations multiples dans les zones côtières de

l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 2012). En fin de compte, la société devra décider de ce qui constitue une mise en valeur durable de la côte. Là où une analyse coûts-avantages a été entreprise, les données indiquent que les décisions de se retirer de la côte et/ou d'employer des méthodes de protection non structurée sont généralement plus productives à long terme. Une analyse économique de longue durée contribuera également à la sélection des options d'adaptation appropriées. Là où il existe déjà des infrastructures majeures, ou où de grosses populations sont déjà établies dans des zones de risque, l'utilisation d'options de protection structurées peut être plus indiquée.

7 RÉFÉRENCES

- Abraham, J., Canavan, T. et Shaw, R., éditeurs (1997) : Climate change and climate variability in Atlantic Canada; volume VI de *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*; Environnement Canada, 130 p., <<http://publications.gc.ca/collections/Collection/En56-119-4-1997E.pdf>>.
- Adams, T. (2011) : Climate change adaptation – groundwater management in Atlantic Canada; rapport rédigé par le Newfoundland and Labrador Department of Environment and Conservation à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 9 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.ucei.ca.acasa/files/Salt%20Water%20Intrusion%20Report.pdf>>.
- Allen, J.R.L. (2000) : Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and southern North Sea coasts of Europe; *Quaternary Science Reviews*, vol. 19, n° 12, p. 1155–1231.
- Allen, J.R.L. et Haslett, S.K. (2014) : Salt-marsh evolution at Northwick and Aust warths, Severn Estuary, UK: a case of constrained autocyclicity; *Atlantic Geology*, vol. 50, p. 1–17. doi:10.4138/atlgeol.2014.001
- Amirault, J.F. et Gates, A.D. (1976) : The storm of 2 February 1976 in the Maritime Provinces; Ministère de l'Environnement du Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Bedford, Nouvelle-Écosse, Report MAES7-76, 28 p.
- Arkema, K.K., Guannel, G., Verutes, G., Wood, S.A., Guerry, A., Ruckelshaus, M., Kareiva, P., Lacayo, M. et Silver, J.M. (2013) : Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms; *Nature Climate Change*, vol. 3, p. 913–918, <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v3/n10/abs/nclimate1944.html>>.
- Arlington Group Planning + Architecture Inc., Tetra Tech EBA, De Jardine Consulting and Sustainability Solutions Group (2013) : Sea level rise adaptation primer: a toolkit to build adaptive capacity on Canada's south coasts; rapport rédigé à l'intention du BC Ministry of Environment, 149 p., <<http://www2.gov.bc.ca/gov/DownloadAsset?assetId=41DCF41B26B4449D8F-54FAA0A8C751A9&filename=slr-primer.pdf>>.
- Association des administrations portuaires canadiennes (2013) : Canada's port authorities; *Canadian Ports Magazine*, Association des administrations portuaires canadiennes, Ottawa, Ontario, p. 8, <<http://www.acpa-ports.net/pr/pdfs/cdnports2013.pdf>>.
- Association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (2012) : Coastal climate change in Prince Edward Island parks: retreat or protect?; association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 4 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.ucei.ca.acasa/files/DEC-00267-PEI%20Coastal%20Change%20at%20Prince%20Edward%20Island%20Parks%20Case%20Study_HIGHREZ.pdf>.
- Aubé, M. et Kocyla, B. (2012) : Adaptation aux changements climatiques : planification de l'utilisation du territoire à Shippagan, Le Goulet et Bas-Caraquet – Péninsule acadienne, Volet accompagnement des communautés; association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 62 p., <<http://atlanticadaptation.ca/node/261>>.
- Auld, H. et MacIver, D. (2007) : Changing weather patterns, uncertainty and infrastructure risks: emerging adaptation requirements; Environnement Canada, Division de la recherche sur l'adaptation et les répercussions, Occasional Paper 9, 18 p., <http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/ec/En57-41-9-2007-eng.pdf>.
- Ban, N. et Alder, J. (2008) : How wild is the ocean? Assessing the intensity of the anthropogenic marine activities in British Columbia, Canada; *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 18, n° 1, p. 55–85, <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aqc.816/epdf>>. doi:10.1002/aqc.816
- Barlow, P.M. et Reichard, E.G. (2010) : Saltwater intrusions in coastal regions of North America; *Hydrogeology Journal*, vol. 18, n° 1, p. 247–260.
- Beaugrand, G., Brander, K.M., Lindley, J.A., Souissi, S. et Reid, P.C. (2003) : Plankton effect on cod recruitment in the North Sea; *Nature*, vol. 426, n° 6967, p. 661–664.
- Bell, T. et Renouf, M.A.P. (2003) : Prehistoric cultures, reconstructed coasts: Maritime Archaic Indian site distribution in Newfoundland; *World Archeology*, vol. 35, n° 3, p. 350–370.
- Bernatchez, P. et Dubois, J.-M. (2004) : Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien; *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 58, n° 1, p. 45–71.
- Bernatchez, P. et Fraser, C. (2012) : Evolution of coastal defense structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada; *Journal of Coastal Research*, vol. 28, n° 6, p. 1550–1566.
- Bernatchez, P., Boucher-Brossard, G. et Sigouin-Cantin, M. (2012a) : Contribution des archives à l'étude des événements météorologiques et géomorphologiques causant des dommages aux côtes du Québec maritime et analyse des tendances, des fréquences et des temps de retour des conditions météo-marines extrêmes; rapport rédigé par la Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski (UQAR) à l'intention du Ministère de la Sécurité publique du Québec, 140 p.
- Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C. et Da Silva, L. (2015) : Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques; rapport rédigé au Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski à l'intention d'Ouranos, 45 p. et annexes.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Dugas, S. et Drejza, S. (2012b) : Marges de sécurité en érosion côtière: évolution historique et future du littoral de la MRC d'Avignon; rapport rédigé par la Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski (UQAR) à l'intention du Ministère de la Sécurité publique du Québec, 49 p.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A. (2008a) : Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques; rapport rédigé au Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski (UQAR) à l'intention d'Ouranos et du Fonds d'action pour les changements climatiques, 256 p., <http://www.ouranos.ca/media/publication/145_Bernatchezetal2008.pdf>.
- Bernatchez, P., Fraser, C. et Lefavre, D. (2008b) : Effets des structures rigides de protection sur la dynamique des risques naturels côtiers: érosion et submersion; comptes rendus de la 4e Conférence canadienne sur les géorisques : des causes à la gestion, J. Locat, D. Perret, D. Turmel, D. Demers et S. Leroueil (éd.); 20 au 24 mai 2008, Presses de l'Université Laval, Québec, Québec, 8 p., <<http://www.geohazard.ggl.ulaval.ca/evaluation/bernatchez.pdf>>.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D. et Dugas, S. (2011) : Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards; *Ocean & Coastal Management*, vol. 54, n° 8, p. 621–632.
- Bernatchez, P., Toubal, T., Van-Wierts, S., Drejza, S. et Friesinger, S. (2010) : Caractérisation géomorphologique et sédimentologique des unités hydrosédimentaires de la baie de Plaisance et de Pointe-aux-Loups, route 199, Îles-de-la-Madeleine; rapport rédigé au Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski (UQAR) à l'intention du Ministère des Transports du Québec, 177 p., <<http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1131300.pdf>>.
- Bernier, N., MacDonald, J., Ou, J., Ritchie, H. et Thompson, K. (2006) : Modélisation des ondes de tempête et des conditions météorologiques; dans *Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur les zones côtières du sud-est du Nouveau-Brunswick*, R.J. Daigle (éd.); Environnement Canada, Ottawa, Ontario, p. 275–324, <<http://publications.gc.ca/collections/Collection/En84-45-2006F.pdf>>.
- Bérubé, D. (1993) : Distribution of coastal protection structures, Northumberland Strait, New Brunswick; planche 93-319, Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick, Division des ressources minérales.
- Bérubé, D. et Thibault, J.J. (1996) : Géomorphologie littorale du détroit de Northumberland, sud-est du Nouveau-Brunswick; Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick, Section des services d'information sur les minéraux et le pétrole, Rapport géoscientifique 96-1, 86 p.

- Bezerra, M.M., Moura, D., Ferreira, O. et Taborda, R. (2011) : Influence of wave action and lithology on sea cliff mass movements in central Algarve Coast, Portugal; *Journal of Coastal Research*, vol. 67, n° 6A, p. 162–171.
- Blankholm, H. (2009) : Long-term research and cultural resource management strategies in light of climate change and human impacts; *Arctic Anthropology*, vol. 46, n° 1–2, p. 17–24.
- Boruff, T.J., Emrich, C.T. et Cutter, L.S. (2005) : Erosion hazard vulnerability of US coastal counties; *Journal of Coastal Research*, vol. 21, n° 5, p. 932–942.
- Bowron, T., Neatt, N., van Proosdij, D. et Lundholm, J. (2012) : Salt marsh restoration in Atlantic Canada; dans *Tidal Marsh Restoration: A Synthesis of Science and Management*, C.T. Roman et D.M. Burdick (éd.); Island Press, Washington, District de Columbia, p. 191–210.
- Boyle, J., Cunningham, M. et Dekens, J. (2013) : Climate change adaptation and Canadian infrastructure: a review of the literature; *International Institute for Sustainable Development Report*, 35 p., <http://www.iisd.org/pdf/2013/adaptation_can_infrastructure.pdf>.
- Breau, A. (2000) : Location and description of coastal defense structures along the Gulf coasts of Quebec; Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, fichier de formes fourni par D. Bérubé.
- Breeze, H., Fenton, D.G., Rutherford, R.J. et Silva, M.A. (2002) : The Scotian Shelf: an ecological overview for ocean planning; *Pêches et Océans Canada, Direction des océans et de l'Environnement, Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 2393*, 259 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/263134.pdf>>.
- Brzeski, V. (2013) : Adapting Atlantic Canadian fisheries to climate change; *Ecology Action Centre*, 8 p., <https://www.ecologyaction.ca/files/images-documents/file/Coastal/CCCheticamp/Fisheries_Adaptation2013.pdf>.
- Brzeski, V., Graham, J. et Baker, J. (2013) : Engaging coastal communities towards climate change adaptation: experiences in Chéticamp; *Ecology Action Centre*, 52 p., <http://www.cccheticamp.ca/CCT_English_April16-webDPI.pdf>.
- Burbridge, C. (2012) : State of the Scotian Shelf report: water and sediment quality; rapport rédigé par l'Atlantic Coastal Zone Information Steering Committee à l'intention de Pêches et Océans Canada, 50 p., <<http://coinalantic.ca/docs/water-and-sediment-quality.pdf>>.
- Burkett, V. et Davidson, M., éditeurs (2012) : Coastal impacts, adaptation, and vulnerabilities: a technical input report to the 2013 national climate assessment; *National Climate Assessment Regional Technical Input Report Series*, Island Press, Washington, District de Columbia, 150 p.
- Bush, E.J., Loder, J.W., James, T.S., Mortsch, L.D. et Cohen, S.J. (2014) : Un aperçu des changements climatiques au Canada; chapitre 2 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.), Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 23–64, <http://www.mcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre2-Apercu_Fra.pdf>.
- Capotondi, A., Alexander, M.A., Bond, N.A., Curchitser, E.N. et Scott, J.D. (2012) : Enhanced upper ocean stratification with climate change in the CMIP3 models; *Journal of Geophysical Research*, vol. 117, Paper C04031, <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011JC007409/full>>. doi:10.1029/2011JC007409
- Carrasco, A., Ferreira, Ó., Matias, A. et Freire, P. (2012) : Flood hazard assessment and management of fetch-limited coastal environments; *Ocean & Coastal Management*, vol. 65, p. 15–25, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569112000865>>.
- Catto, N.R. (2011) : Coastal erosion in Newfoundland; rapport rédigé à l'intention de l'Association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 147 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.uepei.ca/acasa/files/Coastal%20Erosion%20in%20Newfoundland.pdf>>.
- Catto, N.R. (2012) : Natural hazard identification, mapping, and vulnerability assessment in Atlantic Canada: progress and challenges; dans *Disaster Risk and Vulnerability*, C.E. Haque et D. Etkin; McGill-Queen's University Press, Montréal, Québec et Kingston, Ontario, p. 235–274.
- Catto, N.R. et Catto, G. (2014) : Coastal dynamics and erosion at Middle Cove and Outer Cove, Avalon Peninsula, NL: a comparative analysis; affiche présentée au Congrès annuel de l'Association canadienne des géographes, 26 au 30 mai 2014, Université Brock, St. Catharines, Ontario.
- Catto, N.R., Foote, D., Locke, DeYoung, B., Edinger, E., Ingram, D., Karn, J. et Straatman, J. (2006) : Storm and wind impacts on transportation, SW Newfoundland; rapport rédigé à l'intention de Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, 157 p.
- CBCL Limited (2009) : Nos côtes : vie, travail, loisir, protection (Rapport récapitulatif de 2009 sur l'état des côtes de la Nouvelle-Écosse); rapport rédigé par la CBCL Limited à l'intention de la province de Nouvelle-Écosse, 21 p., <http://www.novascotia.ca/coast/documents/state-of-the-coast/WEB_Summary_FR.pdf>.
- CBCL Limited (2012) : Impacts of climate change on stormwater management: stormwater management plan update; rapport rédigé à l'intention de la Ville de Stratford, Île-du-Prince-Édouard, 24 p., <http://www.townofstratford.ca/wp-content/uploads/2013/09/SWMM_Climate_Change_Adaption-2012.pdf>.
- Chaillou, G., Buffin-Bélanger, T. et St-Louis, R. (2012a) : Introduction générale; chapitre 1 dans *Synthèse de l'état des connaissances sur les eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine – Impacts de l'exploration et de l'exploitation des ressources naturelles sur celles-ci*; thèse rédigée au Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski, et remise au Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs et au Ministère des Ressources naturelles, p. 1–28. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/nappes_phreatiques_%C3%AEiles-de-la-madeleine/documents/PR3_chapitre1.pdf>.
- Chaillou, G., Buffin-Bélanger, T. et St-Louis, R. (2012b) : Les ressources en eau souterraine des Îles-de-la-Madeleine; chapitre 3 dans *Synthèse de l'état des connaissances sur les eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine – Impacts de l'exploration et de l'exploitation des ressources naturelles sur celles-ci*; synthèse rédigée au Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski, à l'intention du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs et le Ministère des Ressources naturelles, p. 67–107.
- Chang, S.W., Clement, T.B., Simpson, M.J. et Lee, K.K. (2011) : Does sea-level rise have an impact on saltwater intrusion?; *Advances in Water Resources*, vol. 34, n° 10, p. 1283–1291.
- Chapdelaine, C. (1996) : Réflexion sur l'ancienneté du peuplement initial du Québec à partir de nouveaux indices matériels du Paléolithique récent de la région de Rimouski, Québec; *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 50, n° 3, p. 271–286.
- Chapman, M.G. et Underwood, A.J. (2011) : Evaluation of ecological engineering of 'armoured' shorelines to improve their value as habitat; *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 400, n° 1–2, p. 302–313.
- Charles, A. (2009) : The interaction of fisheries and climate change: socioeconomic and management perspectives; *International Council for the Exploration of the Sea, ICES cm Documents 2009/F:03*, 7 p., <http://smu-facweb.smu.ca/~charles/PDFS_2005/091.pdf>.
- Charles, A. (2012) : People, oceans and scale: governance, livelihoods and climate change adaptation in marine social-ecological systems; *Environmental Sustainability*, vol. 4, n° 3, p. 351–357.
- Charles, J., et Wells, R. (2010) : Planification tenant compte de l'élévation du niveau de la mer au port de Halifax, dans *S'adapter aux changements climatiques : une introduction à l'intention des municipalités canadiennes*; Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 28–29, <http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Climate-Climatiques/IntentionMunicipalites_Canadiennes.pdf>.
- Cheung, W.W.L., Dunne, J., Sarmiento, J.L. et Pauly, D. (2009) : Integrating ecophysiology and plankton dynamics into projected maximum fisheries catch potential under climate change in the northeast Atlantic; *ICES Journal of Marine Science*, vol. 68, n° 6, p. 1008–1018.
- Cheung, W.W.L., Zeller, D. et Pauly, D. (2011) : Projected species shifts due to climate change in the Canadian marine ecoregions; rapport rédigé par le Fisheries Centre, Université de British Columbia à l'intention d'Environnement Canada, 46 p., <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.228.3988&rep=rep1&type=pdf>>.
- Chmura, G.L. (2011) : What do we need to assess the sustainability of the tidal salt marsh carbon sink?; *Ocean & Coastal Management*, vol. 83, p. 25–31.
- Chmura, G.L., Helmer, L.L., Beecher, C.B. et Sunderland, E.M. (2001) : Historical rates of salt marsh accretion on the outer Bay of Fundy; *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 38, n° 7, p. 1081–1092.
- Chouinard, O., Plante, S. et Martin, G. (2008) : The community engagement process: a governance approach in adaptation to coastal erosion and flooding in Atlantic Canada; *Revue canadienne des sciences régionales*, vol. 31, n° 3, p. 507–520.
- Church, J.A. et White, N.J. (2011) : Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century; *Surveys in Geophysics*, vol. 32, n° 3–4, p. 585–602.
- Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. et Unnikrishnan, A.S. (2013) : Sea level change; chapitre 13 dans *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 1137–1216, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf>.

- Cochran, M., Manuel, P. et Rapaport, E. (2012) : Social vulnerability to climate change in Yarmouth, Nova Scotia; partie 2, section 5 dans *Yarmouth: A Case Study in Climate Change Adaptation*, P. Manuel, E. Rapaport, M. Cochran, J. Critchley, J.A. Johnston, J. Muise et Z. Wollenberg (éd.), rapport rédigé par la School of Planning, Université Dalhousie, Halifax, Nouvelle-Écosse à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 133 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.uepei.ca/acasa/files/Yarmouth%20Part%202%20-%20Section%205%20-%20Social%20Vulnerability%20-%20August%2030_1.pdf>.
- Cochrane, K., De Young, C., Soto, D. et Bahri, T., éditeurs (2009) : Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge; Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Fisheries and Aquaculture Technical Paper 530, 212 p., <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/FTP530.pdf>.
- Collie, J.S., Wood, A.D. et Jeffries, H.P. (2008) : Long-term shifts in the species composition of a coastal fish community; *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 65, n° 7, p. 1352–1365.
- Coombes, E.G. et Jones, A.P. (2010) : Assessing the impact of climate change on visitor behaviour and habitat use at the coast: a UK case study; *Global Environmental Change*, vol. 20, n° 2, p. 303–313.
- Cooper, J.A.G. et McLaughlin, S. (1998) : Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis; *Journal of Coastal Research*, vol. 14, n° 2, p. 512–524.
- Cooper, J.A.G. et Pile, J. (2014) : The adaptation-resistance spectrum: a classification of contemporary adaptation approaches to climate-related coastal change; *Ocean & Coastal Management*, vol. 94, p. 90–98.
- Craft, C., Clough, J., Ehman, J., Joye, S., Park, R., Pennings, S., Guo, H. et Machmuller, M. (2009) : Forecasting the effects of accelerated sea-level rise on tidal marsh ecosystem services; *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 7, n° 2, p. 73–78.
- Curren, K. et Azetsu-Scott, K. (2013) : Ocean acidification; chapitre 8 dans *State of the Scotian Shelf Report*, M. MacLean, H. Breeze, J. Walmsley et J. Corkum; Pêches et Océans Canada, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 3074, p. 164–182, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/352339.pdf>>.
- CVIIP [Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques] (2008) : Water resources public infrastructure vulnerability assessment for Placentia, Newfoundland; annexe B-2 dans *Adapting to Climate Change: Canada's First National Engineering Vulnerability Assessment of Public Infrastructure*; Ingénieurs Canada, 76 p., <http://www.piev.ca/sites/default/files/adapting_to_climate_change_report_final.pdf>.
- Daigle, R.J. (2006) : Impacts of sea-level rise and climate change on the coastal zone of southeastern New Brunswick; *Environnement Canada, Ottawa, Ontario*, 644 p., <<http://publications.gc.ca/collections/Collection/En84-45-2006E.pdf>>.
- Daigle, R.J., O'Carroll, S., Young, L. et Paul, P. (2015) : Impacts of climate change and sea level rise on the Mi'kmaq communities of the Bras d'Or Lakes, phase one project report; rapport remis par l'Unama'ki Institute of Natural Resources à Affaires autochtones et du Nord Canada, Programme d'adaptation aux changements climatiques, 87 p., <<http://www.uin.ca/wp-content/uploads/2015/07/Climate-Change-2015-Report-WEB-COMPRESSED.pdf>>.
- Davidson-Amott, R.G.D. (2005) : Conceptual model of the effects of sea level rise on sandy coasts; *Journal of Coastal Research*, vol. 21, n° 6, p. 1166–1172.
- Davidson-Amott, R.G.D. et Ollerhead, J. (2011) : Coastal erosion and climate change; rapport rédigé au Prince Edward Island Department of Environment, Labour and Justice à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 41 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.uepei.ca/acasa/files/Coastal%20Erosion%20and%20Climate%20Change.pdf>>.
- Davidson-Amott, R.G.D., van Proosdij, D., Ollerhead, J. et Shostak, L. (2002) : Hydrodynamics and sedimentation in salt marshes: examples from a macrotidal marsh, Bay of Fundy; *Geomorphology*, vol. 48, n° 1–3, p. 209–231.
- Davies, M. (2011) : Geomorphic shoreline classification of Prince Edward Island; rapport rédigé par la Coldwater Consulting Ltd à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 66 p., <http://www.gov.pe.ca/photos/original/shoreline_pei.pdf>.
- Dawson, R.J., Dickson, M.E., Nicholls, R.J., Hall, J.W., Walkden, M.J.A., Stansby, P.K., Mokrech, M., Richards, J., Zhou, J., Milligan, J., Jordan, A., Pearson, S., Rees, J., Bates, P.D., Koukoulas, S. et Watkinson, A.R. (2009) : Integrated analysis of risks of coastal flooding and cliff erosion under scenarios of long term change; *Climatic Change*, vol. 95, n° 1–2, p. 249–288.
- Day, J.W., Christian, R.R., Boesch, D.M., Yanez-Arancibia, A., Morris, J., Twilley, R.R., Naylor, L., Schaffner, L. et Stevenson, C. (2008) : Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands; *Estuaries and Coasts*, vol. 31, n° 3, p. 477–491.
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T.A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M. et Scapini, F. (2009) : Threats to sandy beach ecosystems: a review; *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 81, n° 1, p. 1–12.
- de Jong, M.F., Drijfhout, S.S., Hazeleger, W., van Aken, H.M. et Severijns, C.A. (2009) : Simulations of hydrographic properties in the northwestern North Atlantic Ocean in coupled climate models; *Journal of Climate*, vol. 22, p. 1767–1786.
- de la Vega-Leinert, A.C. et Nicholls, R.J. (2008) : Potential implications of sea-level rise for Great Britain; *Journal of Coastal Research*, vol. 4, n° 2, p. 342–357.
- Delusca, K., Vasseur, L. et Chouinard, O. (2008) : Marées de tempête et communautés à risque dans le sud-est du Nouveau-Brunswick: cas de la communauté de Pointe-du-Chêne; *Revue canadienne des sciences régionales*, vol. 31, n° 1, p. 19–37.
- Desplanque, C. et Mossman, D.J. (2004) : Tides and their seminal impact of the geology, geography, history, and socio-economics of the Bay of Fundy, eastern Canada; *Atlantic Geology*, vol. 40, n° 1, p. 1–130.
- Dillon Consulting and de Romilly & de Romilly Ltd. (2007) : Climate SMART: climate change risk management strategy for Halifax Regional Municipality; rapport rédigé à l'intention de la Halifax Regional Municipality, 189 p., <<http://www.halifax.ca/climate/documents/ClimateChangeRiskManagementStrategyforHRMDecember2007.pdf>>.
- Dionne, J.-C. (1985) : Formes, figures et faciès sédimentaires glaciels des estrans vaseux des régions froides; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 51, n° 1–4, p. 415–451.
- Dionne, J.-C. (1989) : An estimate of shore ice action in a *Spartina* tidal marsh, St. Lawrence estuary, Quebec; *Journal of Coastal Research*, vol. 5, n° 2, p. 281–293.
- Dionne, J.-C. (2004) : Âge et taux moyen d'accrétion verticale des schorres du Saint-Laurent estuarien, en particulier ceux de Montmagny et des Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec; *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 58, n° 1, p. 73–108.
- Doiron, S. (2012) : From climate change plans to by-laws, it's time to act; Institut canadien des urbanistes, Plan Canada, p. 30–34.
- Dolan, A.H. et Walker, I.J. (2006) : Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks; *Journal of Coastal Research, Special Issue 39*, p. 1316–1323.
- Doody, J.P. (2008) : *Saltmarsh Conservation, Management and Restoration*; Springer, Dusseldorf, Allemagne, 219 p.
- Doody, J.P. (2013) : Coastal squeeze and managed realignment in southeast England: does it tell us anything about the future?; *Ocean & Coastal Management*, vol. 79, p. 34–41.
- Drapeau, G. (1992) : Dynamique sédimentaire des littoraux de l'estuaire du Saint-Laurent; *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 46, n° 2, p. 233–242.
- Dreja, S. (2010) : Impacts et efficacité des zonages des risques côtiers dans un contexte de changements climatiques: exemple de Percé, Québec; thèse de maîtrise, Université du Québec à Rimouski (UQAR), Rimouski, Québec, 177 p., <<http://www.archipel.uqam.ca/2743/1/M11344.pdf>>.
- Dreja, S., Bernatchez, P. et Dugas, C. (2011) : Effectiveness of land management measures to reduce coastal georisks, eastern Québec, Canada; *Ocean & Coastal Management*, vol. 54, n° 4, p. 290–301.
- Drijfhout, S., van Oldenborgh, G.J. et Cimatoribus, A. (2012) : Is a decline of AMOC causing the warming hole above the North Atlantic in observed and modeled warming patterns?; *Journal of Climate*, vol. 25, n° 24, p. 8373–8379. doi:10.1175/JCLI-D-12-00490.1
- Drinkwater, K.F. et Gilbert, D. (2004) : Hydrographic variability in the waters of the Gulf of St. Lawrence, the Scotian Shelf and the eastern Gulf of Maine (NAFO Subarea 4) during 1991–2000; *Journal of Northwest Atlantic Fisheries Sciences*, vol. 34, p. 85–101.
- Drolet, D., Bringloie, T.T., Coffin, M.R.S., Barbeau, M.A. et Hamilton, D.J. (2012) : Potential for between-mudflat movement and metapopulation dynamics in an intertidal burrowing amphipod; *Marine Ecology Progress Series*, vol. 449, p. 197–209.
- Duarte, C.M., Losada, I.J., Hendriks, I.E., Mazarrasa, I. et Marba, N. (2013) : The role of coastal plant communities for climate change adaptation and mitigation; *Nature Climate Change*, vol. 3, p. 961–968, <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v3/n11/full/nclimate1970.html>>.
- Dubois, J.-M., Bernatchez, P., Bouchard, J.-D., Cayer, D., Daigneault, B. et Dugas, S. (2005) : Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du St-Laurent pour la période de 1996–2003; Conférence régionale des élus de la Côte-Nord (CRÉ Côte-Nord), rapport présenté au Comité interministériel sur l'érosion des berges de la Côte-Nord, 291 p., <<http://crecotenord.org/sites/default/files/Rapport%20%C3%A9rosion%20des%20berges%20A%20-%20Table%20des%20m%C3%A8res%20et%20listes.pdf>>.

- Dufour, R. et Ouellet, P., éditeurs (2007) : Rapport d'aperçu et d'évaluation de l'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent; Ministère des Pêches et Océans Canada, Mont-Joli, Québec, Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 2744E, 112 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/329836.pdf>>.
- Duggan, R. (2011) : Coastal heritage conservation plan: Fortress Louisbourg National Historic Site of Canada; Parcs Canada, Halifax, Nouvelle-Écosse, 154 p.
- Edwards, M. et Richardson, A.J. (2004) : Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch; *Nature*, vol. 430, n° 7002, p. 881–884.
- English Heritage (2008) : Climate change and the historic environment; English Heritage, Londres, Royaume-Uni, 15 p., <<http://www.visitchurches.org.uk/Assets/Conservationdocuments/Climatechangeandthehistoricenvironment.pdf?1297168646>>.
- Environnement Canada (2015) : Total accumulé de la couverture des glaces historique pour les semaines 1112-0702, saisons : 1980/81–2014/15 – régionale côte Est; Service canadien des glaces, Graphe de glace, <http://ice-glaces.ec.gc.ca/prods/CVCHDCTEC/20160307180000_CVCHDCTEC_0008753753.pdf>.
- Eyzaguirre, J. et Warren, F.J. (2014) : Adaptation : établir un lien entre la recherche et la pratique; chapitre 9 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.); Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 253–286, <http://www.nrncan.gc.ca/sites/www.nrncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre9-Adaptation_Fra.pdf>.
- Feagin, R.A., Martinez, M.L., Mendoza-Gonzalez, G. et Costanza, R. (2010) : Salt marsh zonal migration and ecosystem service change in response to global sea level rise: a case study from an urban region; *Ecology and Society*, vol. 15, n° 4, art. 14, <<http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art14/>>.
- Fedak, M. (2012) : Hydrodynamic modelling for flood management in Bay of Fundy dykelands; thèse de maîtrise, Université Saint Mary's, Halifax, Nouvelle-Écosse, 179 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca.acasa/files/Hydrodynamic%20Modelling%20for%20Bay%20of%20Fundy%20Dykeland%20Management_0.pdf>.
- Fedak, M. et van Proosdij, D. (2012) : Hydrodynamic flood modelling within Fundy dykelands: Windsor case study; rapport final remis à l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, Climate Change Directorate, Nova Scotia Department of Environment, 73 p.
- Feindel, N., Cooper, L., Trippel, E. et Blair, T. (2013) : Climate change and marine aquaculture in Atlantic Canada and Quebec; chapitre 6 dans *Climate Change Impacts, Vulnerabilities and Opportunities Analysis of the Marine Atlantic Basin*, N.L. Shackell, B.J.W. Greenan, P. Pepin, D. Chabot et A. Warburton (éd.); Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 3012, p. 195–240.
- Fenech, A., Brydon, C., Taylor, E., Jardine, D., Angus, R. et Dickie, S. (soumis) : The vulnerability of coastal infrastructure on Prince Edward Island: a quantitative risk assessment of the potential impacts of future coastal erosion; soumis au *Géographe canadien*.
- Ferguson, G. et Beebe, C. (2012) : Vulnerability of Nova Scotia's coastal groundwater supplies to climate change; association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 12 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca.acasa/files/Nova%20Scotia%20ACAS%20groundwater%20report%20_0.pdf>.
- Finck, P.W. (2007) : Geological observations relating to coastal erosion along the Tidnich–Amherst shore area of Nova Scotia; dans *Mineral Resources Branch Report of Activities 2006*, D.R. MacDonald (éd.); Nova Scotia Department of Natural Resources, Report ME 2007-1, p. 33–48, <<http://www.novascotia.ca/NATR/MEB/DATA/PUBS/07re01/04Finck.pdf>>.
- Finck, P.W. (2011) : An assessment of coastal erosion at the Malagawatch graveyard archeological site; dans *Mineral Resources Branch Report of Activities 2010*, D.R. MacDonald et K.A. Mills (éd.); Nova Scotia Department of Natural Resources, Report ME 2011-1, p. 21–28, <http://novascotia.ca/natr/meb/data/pubs/11re01/11re01_06FinckMalagawatch.pdf>.
- Finck, P.W. (2012) : Analysis of spit-beach migration and armour stone placement, and recommendations for system sustainability at Dominion Beach Provincial Park, Cape Breton County, Nova Scotia; Nova Scotia Natural Resources, Open File Report ME 2012-003, 13 p., <http://novascotia.ca/natr/meb/data/pubs/12ofr03/OFR_ME_2012-003.pdf>.
- Finnis, J. (2013) : Projected impacts of climate change for the Province of Newfoundland and Labrador; rapport rédigé à l'intention de l'Office de Climate Change, Energy Efficiency and Emissions Trading, St John's, Terre-Neuve-et-Labrador, 134 p., <http://turnbackthetide.ca/whatsnew/2013/NL_Climate_Projections_Full_Report.pdf>.
- Fisher, G. (2011) : Municipal climate change action plan guidebook; Service Nouvelle-Écosse et Relations avec les municipalités et Secrétariat du Programme d'infrastructures Canada–Nouvelle-Écosse, Halifax, Nouvelle-Écosse, 31 p., <https://www.fcm.ca/Documents/tools/PCP/municipal_climate_change_action_plan_guidebook_EN.pdf>.
- Forbes, D.L. et Manson, G.K. (2002) : Coastal geology and shore-zone processes; chapitre 9 dans *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, M.M. McCulloch, D.L. Forbes et R.D. Shaw (éd.); Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 4261, <<http://geogatis.gc.ca/api/en/nrcan-nrcan/ess-sst/b127e3eb-9238-50ef-a5d5-1a4b62601e82.html>>.
- Forbes, D.L., Manson, G.K., Charles, J., Thompson, K.R. et Taylor, R.B. (2009) : Halifax Harbour extreme water levels in the context of climate change: scenarios for a 100-year planning horizon; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 6346, 26 p., <http://ftp2.cits.mcan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/248/248196/of_6346.pdf>.
- Forbes, D.L., Parkes, G.S., Manson, G.K. et Ketch, L.A. (2004) : Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence; *Marine Geology*, vol. 210, n° 1–4, p. 169–204.
- Forbes, D.L., Parkes, G.S., O'Reilly, C., Daigle, R., Taylor, R. et Catto, N. (2000) : Storm-surge, sea-ice and wave impacts of the 21–22 January 2000 storm in coastal communities of Atlantic Canada; 34e Congrès de la Société canadienne de météorologie et d'océanographie, 29 mai au 2 juin 2000, Victoria, Colombie-Britannique, Programme et résumés du Congrès, p. 82.
- Force, E.R. (2012) : Coastal erosion and deposition in the Cap LaRone–Goulet Beach sector of Isle Madame, Cape Breton Island, Nova Scotia; C-Change ICURA Working Paper Series, n° 40, 22 p., <http://www.coastalchange.ca/images/stories/Documents_Tab/workingpaper40_force_cape_laronde_2012.pdf>.
- Friesinger, S. et Bernatchez, P. (2010) : Perceptions of Gulf of St. Lawrence coastal communities confronting environmental change: hazards and adaptation, Quebec, Canada; *Ocean & Coastal Management*, vol. 53, n° 11, p. 669–678.
- Friesinger, S., Drejza, S., Bernatchez, P., Boyer-Villemaire, U., Van-Wierst, S., Marie, G. et Lacombe, D. (2013) : Vulnérabilité des infrastructures routières de l'est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques; *Forum Science Environnement*, 16 octobre 2013, Québec, Québec, affiche.
- Frumhoff, P.C., McCarthy, J.J., Melillo, J.M., Moser, S.C. et Wuebbles, D.J. (2007) : Confronting climate change in the U.S. northeast: science, impacts, and solutions; rapport rédigé par le Northeast Climate Impacts Assessment (NECIA) Synthesis Team, Union of Concerned Scientists, Cambridge, Massachusetts, 145 p., <http://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/global_warming/pdf/confronting-climate-change-in-the-u-s-northeast.pdf>.
- Galbraith, P.S. et Larouche, P. (2013) : Trends and variability in air and sea surface temperatures in eastern Canada; chapitre 1 dans *Aspects of Climate Change in the Northwest Atlantic off Canada*, J.W. Loder, G. Han, P.S. Galbraith, J. Chassé et A. van der Baaren (éd.); Pêches et Océans Canada, Ottawa, Ontario, Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 3045, p. 1–18, <http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/mpo-dfo/Fs97-6-3045-eng.pdf>.
- Galbraith, P.S., Larouche, P., Chassé, J. et Petrie, B. (2012) : Sea-surface temperature in relation to air temperature in the Gulf of St. Lawrence: interdecadal variability and long term trends; *Deep Sea Research, Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 77–80, p. 10–20.
- Garbary, D.J., Miller, A.G., Williams, J. et Seymour, N. (2014) : Drastic decline of an extensive eelgrass bed in Nova Scotia due to the activity of the invasive green crab (*Carcinus maenas*); *Marine Biology*, vol. 161, n° 1, p. 3–15, <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00227-013-2323-4>>.
- Gardiner Pinfold Consulting Economists Ltd. (2009) : Incidence économique du secteur de l'océan de la Nouvelle-Écosse pour la période 2002–2006; rapport rédigé par la Gardiner Pinfold Consulting Economists Ltd à l'intention de Pêches et Océans Canada et le Nova Scotia Office of Economic Development, 42 p., <[http://lunenburgregion.ca/images/uploads/English_-_NS_Ocean_Sector_FINAL_Report_\(March,_2009\).pdf](http://lunenburgregion.ca/images/uploads/English_-_NS_Ocean_Sector_FINAL_Report_(March,_2009).pdf)>.
- Garmendia, E., Gamboa, G., Franco, J., Garmendia, J.M., Liria, P. et Olazabal, M. (2010) : Social multi-criteria evaluation as a decision support tool for integrated coastal zone management; *Ocean & Coastal Management*, vol. 53, p. 385–403.
- Gameau, M. (1998) : Paléocéologie d'une tourbière littorale de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, L'Isle-Verte, Québec; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Bulletin 514, 145 p.
- Gazeau, F., Gattuso, J.-P., Dawber, C., Pronker, A.E., Peene, F., Peene, J., Heip, C.H.R. et Middelburg, J.J. (2010) : Effect of ocean acidification on the early life stages of the blue mussel *Mytilus edulis*; *Biogeosciences*, vol. 7, p. 2051–2060.

- Gazeau, F., Parker, L.M., Comeau, S., Gattuso, J.-P., O'Connor, W.A., Martin, S., Pörtner, H.-O. et Ross, P.M. (2013) : Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs; *Marine Biology*, vol. 160, p. 2207–2245.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2007) : Glossary; dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 941-954, <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-annexes.pdf>>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2012) : Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX); rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., Tignor, M. et P.M. Midgley (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 582 p., <http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-All_FINAL.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013) : Summary for policymakers; dans *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 27 p., <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014) : Glossary; dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 1757–1776, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIAR5-AnnexII_FINAL.pdf>.
- Global Environment Facility Scientific and Technical Advisory Panel (2011) : Hypoxia and nutrient reduction in the coastal zone – advice for prevention, remediation and research; Global Environment Facility (GEF), Scientific and Technical Advisory Panel (STAP), Washington, District de Columbia, 87 p., <http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/STAP_Hypoxia_low.pdf>.
- Government of Prince Edward Island (2011) : Saltwater intrusion and climate change: a primer for local and provincial decision-makers; rapport rédigé par le Prince Edward Island Department of Environment, Labour and Justice à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 26 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.uepei.ca.acasa/files/Saltwater%20Intrusion%20and%20Climate%20Change%20in%20Atlantic%20Canada.pdf>>.
- Graham, S., Barnett, J., Fincher, R., Hurlimann, A., Mortreux, C. et Waters, E. (2013) : The social values at risk from sea-level rise; *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 41, p. 45–52.
- Greenberg, D.A., Blanchard, W., Smith, B. et Barrow, E. (2012) : Climate change, mean sea level and high tides in the Bay of Fundy; *Atmosphere-Ocean*, vol. 50, n° 3, p. 261–276.
- Greene, C.H., Pershing, A.J., Cronin, T.M. et Ceci, N. (2008) : Arctic climate change and its impacts on the ecology of the North Atlantic; *Ecology*, vol. 89, n° 11, p. S24–S38.
- Gregg, W.W., Conkright, M.E., Ginoux, P., O'Reilly, J.E. et Casey, N.W. (2003) : Ocean primary production and climate: global decadal changes; *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 15, art. 1809. doi:10.1029/2003GL016889
- Gurney-Smith, H.J. (2015) : The changing oceans: causes, effects and mitigation for shellfish in acidifying times; in *Aquaculture Canada 2014: Proceedings of Contributed Papers*; Bulletin de l'Association aquacole du Canada 2015-1, p. 45–58.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Rujita, R., Heinmann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R. et Watson, R. (2008) : A global map of human impact on marine ecosystems; *Science*, vol. 319, n° 5865, p. 948–952.
- Han, G., Ma, Z. et Bao, H. (2013) : Trends of temperature, salinity, stratification and mixed-layer depth in the northwest Atlantic; dans *Aspects of Climate Change in the Northwest Atlantic off Canada*, J.W. Loder, G. Han, P.S. Galbraith, J. Chassé et A. van der Baaren (éd.); Pêches et Océans Canada, Ottawa, Ontario, Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 3045, p. 19–32, <http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/mpo-dfo/Fs97-6-3045-eng.pdf>.
- Handisyde, N.T., Ross, L.G., Badjeck, M.-C. et Allison, E.H. (2006) : The effects of climate change on world aquaculture: a global perspective; Department for International Development (DFID) Aquaculture and Fish Genetics Research Programme, Stirling Institute of Aquaculture, Stirling, Royaume-Uni, Final Technical Report, 151 p., <www.aqua.stir.ac.uk/GISAP/pdfs/Climate_full.pdf>.
- Hansen, B.A. (2012) : Simulating the effects of climate change on a coastal aquifer, Summerside, Prince Edward Island; thèse de maîtrise, Université St. Francis Xavier, Antigonish, Nouvelle-Écosse, 95 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.uepei.ca.acasa/files/Hansen_MSc%20Thesis_2012.pdf>.
- Hanson, A., Bérubé, D., Forbes, D.L., O'Carroll, S., Ollerhead, J. et Olsen, L. (2006) : Impact de l'élévation du niveau de la mer et de l'expansion résidentielle sur la superficie occupée par les marais salés dans le sud-est du Nouveau-Brunswick de 1944 à 2001; section 4.6.3 dans Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick, R.J. Daigle (éd.); Environnement Canada, Ottawa, Ontario, p. 408–421, <<http://publications.gc.ca/collections/Collection/En84-45-2006F.pdf>>.
- Hapke, C.J., Kratzmann, M.G. et Himmelstoss, E.A. (2013) : Geomorphic and human influence on large-scale coastal change; *Geomorphology*, vol. 199, p. 160–170.
- Hedley, N., Fenech, A., Doiron, A. and Chen, A. (soumis) : Full spectrum climate change adaptation: building community resilience through geovisual engagement; submitted to *Climatic Change*.
- Hoegh-Guldberg, O. et Bruno, J.F. (2010) : The impact of climate change on the world's marine ecosystems; *Science*, vol. 328, n° 5985, p. 1523–1528.
- HRM [Halifax Regional Municipality] Department of Energy and Environment. (2013) : Municipal climate change action planning, Halifax Regional Municipality; rapport final remis à Service Nova Scotia and Municipal Relations, 86 p., <<http://www.halifax.ca/energy-environment/environment/documents/2-MunicipalClimateChangeActionPlanReport.pdf>>.
- Hughes, P. et Brundrit, G.B. (1992) : An index to assess South Africa's vulnerability to sea-level rise; *South African Journal of Science*, vol. 88, p. 308–311.
- Hunter, G.T. (1975) : Beach resources and quarries, eastern New Brunswick; New Brunswick Department of Energy and Mines, Miscellaneous Report MSC 2, 199 p., <<http://dnre-mrne.gnb.ca/ParisWeb/PublicationDetails.aspx>>.
- Hutchings, J.A., Côté, I.M., Dodson, J.J., Fleming, I.A., Jennings, S., Mantua, N.J., Peterman, R.M., Riddell, B.E., Weaver, A.J. et VanderZwaag, D.L. (2012) : Sustaining Canadian marine biodiversity: responding to the challenges posed by climate change, fisheries and aquaculture; rapport du groupe d'experts préparé à l'intention de la Société royale du Canada, <http://rsc-src.ca/sites/default/files/pdf/RSCMarineBiodiversity2012_ENFINAL.pdf>.
- Ingram, D. (2004) : Coastal geomorphology, erosion and anthropogenic stresses, Sandbanks Provincial Park, southwestern Newfoundland; thèse de baccalauréat, Université Memorial, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador.
- Jackson, A.C. and Mclvenny, J. (2011) : Coastal squeeze on rocky shores in northern Scotland and some possible ecological impacts; *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 400, n° 1–2, p. 314–321.
- James, T.S., Henton, J.A., Leonard, L.J., Darlington, A., Forbes, D.L. et Craymer, M. (2014) : Relative sea-level projections in Canada and the adjacent mainland United States; ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 7737, 67 p., <http://ftp2.cits.nrcan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/295/295574/of_7737.pdf>.
- James, T.S., Henton, J.A., Leonard, L.J., Darlington, A., Forbes, D.L. et Craymer, M. (2015) : Tabulated values of relative sea-level projections in Canada and the adjacent mainland United States; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 7942, 81 p. doi:10.4095/297048
- Jennings, M., Bérubé, D., Jolicoeur, S. et Evans, P. (2008) : Coastal erosion control methods for dunes, beaches and cliffs; Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, de la politique et de la planification, planche 2008-6.
- Johnston, A., Manuel, P. et E. Rapaport, E. (2012) : Exploring capacity for adaptation in the district of Lunenburg; section 2, partie 6 dans *Municipality of the District of Lunenburg: A Case Study in Climate Change Adaptation*; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 44 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.uepei.ca.acasa/files/Lunenburg%20Part%202%20-%20Section%206%20-%20Municipal%20Capacity%20-%20August%2030_0.pdf>.
- Jolicoeur, S. et O'Carroll, S. (2007) : Sandy barriers, climate change and long-term planning of strategic coastal infrastructures, Îles-de-la-Madeleine, Gulf of St. Lawrence (Quebec, Canada); *Landscape and Urban Planning*, vol. 81, n° 4–5, p. 287–298.

- Jolicoeur, S. et O'Carroll, S. (2012) : Projet de la Péninsule acadienne: rapport de recherche technique, Équipe « Photogrammétrie et cartographie »; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 63 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Péninsule%20acadienne-Photogrammétrie%20et%20cartographie-UdeM-2012_0.pdf>.
- Jolicoeur, S., Giangioppi, M. et Bérubé, D. (2010) : Réponse de la flèche littorale de Bouctouche (Nouveau-Brunswick) à la hausse du niveau marin relatif et aux tempêtes entre 1944 et; Géomorphologie: relief, processus, environnement, vol. 1, p. 91–108.
- Jones, B.M., Arp, C.D., Jorgenson, M.T., Hinkel, K.M., Schmutz, J.A. et Flint, P.L. (2009) : Increase in the rate and uniformity of coastline erosion in Arctic Alaska; Geophysical Research Letters, vol. 36, n° 3, art. L03503. doi:10.1029/2008GL036205
- Kelley, J.T., Belknap, D.F., Kelley, A.R. et Claesson, S.H. (2013) : A model for drowned terrestrial habitats with associated archeological remains in the northwestern Gulf of Maine, USA; Marine Geology, vol. 338, p. 1–16.
- Kirstmanson, H. (2011) : Climate change: threats to archaeological sites; présentation donnée à Rising Tides: Preparing for Climate Change, Université de Prince Edward Island, 28 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Climate%20Change%20Threats%20to%20Archaeological%20Sites%20-%20Helen%20Kristmanson_0.pdf>.
- Kirwan, M.L. et Megonigal, J.P. (2013) : Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise; Nature, vol. 504, n° 7478, p. 53–60.
- Kirwan, M.L., Guntenspergen, G.R., D'Alpaos, A., Morris, J.T., Mudd, S.M. et Temmerman, S. (2010) : Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level; Geophysical Research Letters, vol. 37, n° 23, art. L23401. doi:10.1029/2010GL045489
- Klassen, G. (2013) : Invasive species; chapitre 6 dans *State of the Scotian Shelf Report*, M. MacLean, H. Breeze, J. Walmsley et J. Corkum (éd.); Pêches et Océans Canada, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 3074, p. 119–140, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/352339.pdf>>.
- Kovacs, P. et Thistlethwaite, J. (2014) : Industrie; chapitre 5 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.); Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 135–158. <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre5-Industrie_Fra.pdf>.
- Kumar, T.S., Mahendra, R.S., Nayak, S., Radhakrishnan, K. et Sahu K.C. (2010) : Coastal vulnerability assessment of Orissa State, east coast of India; Journal of Coastal Research, vol. 26, n° 3, p. 523–534.
- Lacroix, D., Bell, T., Shaw, J. et Westley, K. (2014) : Submerged archaeological landscapes and the recording of precontact history: examples from Atlantic Canada; dans *Prehistoric Archaeology on the Continental Shelf*, A.M. Evans, J.C. Flatman et N.C. Flemming (éd.); Springer, New York, New York, p. 13–35.
- Lane, D., Clarke, C.M. Forbes, D.L. et Watson, P. (2013) : The gathering storm: managing adaptation to environmental change in coastal communities and small islands; Sustainability Science, vol. 8, n° 3, p. 469–489. doi:10.1007/s11625-013-0213-9
- Leclerc, A.-M. (2010) : Ouvrages de protection du littoral : effets sur la morphologie des plages et sur les communautés benthiques intertidales, région de Saint-Siméon et de Bonaventure, Baie-des-Chaleurs (Québec, Canada); thèse de maîtrise, Université du Québec à Rimouski (UQAR), Rimouski, Québec, 141 p., <<http://www.archipel.uqam.ca/3692/1/M11542.pdf>>.
- Le Fouest, V., Zakardjian, B., Saucier, F.J. et Starr, M. (2005) : Seasonal versus synoptic variability in planktonic production in a high-latitude marginal sea: the Gulf of St. Lawrence (Canada); Journal of Geophysical Research: Oceans, vol. 110, n° 21, art. C09012. doi:10.1029/2004JC002423
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J. et Bush, E., éditeurs (2008) : *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*; Gouvernement du Canada, Ottawa, 448 p., <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/full-complet_f.pdf>.
- Lieske, D.J. (2012) : Towards a framework for designing spatial and non-spatial visualizations for communicating climate change risks; Geomatica, vol. 66, n° 1, p. 27–36. doi:10.5623/cig2012-006
- Lieske, D.J. et Bornemann, J. (2012) : Coastal dykelands in the Tantramar area: impacts of climate change on dyke erosion and flood risk; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 32 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Tantramar-CoastalDykelands-ImpactsOfClimateChange-MtA-2011.pdf>>.
- Lieske, D.J., Wade, T. et Roness, L.A. (2014) : Climate change awareness and strategies for communicating the risk of coastal flooding: a Canadian Maritime case example; Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 140, p. 83–94. doi:10.1016/j.ecss.2013.04.017
- Linham, M.M. et Nicholls, R.J. (2010) : Technologies for climate change adaptation – coastal erosion and flooding; UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development TNA Guidebook Series, 150 p., <http://www.unep.org/pdf/TNAhandbook_CoastalErosionFlooding.pdf>.
- Loaiciga, H.A., Pingel, T.J. et Garcia, E.S. (2012) : Sea water intrusion by sea-level rise: scenarios for the 21st century; Groundwater, vol. 50, n° 1, p. 37–47. doi:10.1111/j.1745-6584.2011.00800.x
- Loder, J.W., Han, G., Galbraith, P.S., Chassé, J. et van der Baaren, A. (2013) : Aspects of climate change in the northwest Atlantic off Canada; Pêches et Océans Canada, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 3045, 190 p., <http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/mpo-dfo/Fs97-6-3045-eng.pdf>.
- Lowitt, K. (2012) : Examining the foundations for stronger fisheries-tourism synergies and increased local seafood consumption in the Bonne-Bay region of Newfoundland and Labrador; Community-University Research for Recovery Alliance (CURRA), Université Memorial, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, 5 p. <http://www.opec.gov.nl.ca/pe/whatweredoing/cbr_reports/14.1.CURRA_Fisheries-Tourism_rpt_Nov2011.pdf>.
- MacDonald, K. (2014) : Modeling present and future physical coastal vulnerability to climate change: North Shore, Prince Edward Island; thèse de maîtrise, Université de Waterloo, Waterloo, Ontario, 145 p.
- Macintosh, A. (2013) : Coastal climate hazards and urban planning: how planning responses can lead to maladaptation; Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol. 18, n° 7, p. 1035–1055. doi:10.1007/s11027-012-9406-2
- MacQuarrie, K., Butler, K., Mott, E. et Green, N. (2012) : A case study of coastal aquifers near Richibucto, New Brunswick: saline groundwater occurrence and potential impacts of climate change on seawater intrusion; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 88 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Richibucto-Saltwater-Intrusion-UNB-2012.pdf>>.
- Maher, P., Rapaport, E. et P. Manuel (2012) : Visualizing sea level rise; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 63 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Visualising%20sea%20level%20rise_0.pdf>.
- Manuel, P., Rapaport, E., Cochran, M., Critchley, J., Johnston, A., Muise, J. et Wollenberg, Z. (2012) : Yarmouth: a case study in climate change adaptation; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 19 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Yarmouth%20Part%201%20-%20Intro%20and%20Background%20-%20August%2030_0.pdf>.
- Marlin, A. (2013) : Climate change adaptation: a toolkit – Sackville, Port Elgin, Dorchester et Memramcook; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 35 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Tantramar-adaptation-toolkit-2013-2MB.pdf>>.
- Marzeion, B. et Levermann, A. (2014) : Loss of cultural world heritage and currently inhabited places to sea-level rise; Environmental Research Letters, vol. 9, n° 3, art. 034001. doi:10.1088/1748-9326/9/3/034001
- Masselink, G. et Russel, P. (2013) : Impacts of climate change on coastal erosion; Marine Climate Change Impacts Partnership (MCCIP) : Science Review, 2013, p. 71–86, <http://www.mccip.org.uk/media/1256/2013arc_sciencereview_09_ce_final.pdf>.
- Masson, A. (2014) : The extratropical transition of Hurricane Igor and the impacts on Newfoundland; Natural Hazards, vol. 72, n° 2, p. 617–632. doi:10.1007/s11069-013-1027-x
- Mathew, S., Davidson-Arnott, R.G.D. et Ollerhead, J. (2010) : Evolution of a beach-dune system following a catastrophic storm overwash event: Greenwich Dunes, Prince Edward Island, 1936–2005; Revue canadienne des sciences de la Terre, vol. 47, n° 3, p. 273–290. doi:10.1139/E09-078
- McLean, L. (2011) : Burnside Heritage Foundation: 2011 summary; Burnside Heritage Foundation Inc., Bonavista Bay, Terre-Neuve, 12 p., <http://digthequarry.com/Our_research_files/BHF2011_PAO_small.pdf>.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J. et Zhao, Z.-C. (2007) : Global climate projections; dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et York, New York, p. 747–845, <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch10.html>.
- Mercer Clarke, C.S.L. (2010) : Rethinking responses to coastal problems: an analysis of the opportunities and constraints for Canada; thèse de doctorat, Université Dalhousie, Halifax, Nouvelle-Écosse, 352 p., <<http://dalspace.library.dal.ca/handle/10222/12841?show=full>>.

- Michel, D. et Pandya, A., editors (2010) : Coastal zones and climate change; Henry L. Stimson Centre, Washington, District de Columbia, 106 p., <http://www.stimson.org/images/uploads/research-pdfs/Coastal_Zones-Complete.pdf>.
- Mi'kmaq Confederacy of PEI (2014) : Adapting the PEI First Nations' coastal residences, infrastructure and heritage to a changing climate on Prince Edward Island; Mi'kmaq Confederacy of PEI, <http://www.mcpei.ca/files/u1/ting_the_PEI_First_Nations_to_Climate_Change.pdf>.
- Millar, P.H. (2013) : Les pêches et l'aquaculture au Canada l'apport de la génomique à la résolution des défis sectoriels; Génome Canada, Génome Atlantique et Génome Colombie-Britannique, 24 p., <http://www.genomecanada.ca/sites/genomecanada/files/sector/Fisheries_and_Aquaculture_FactSheet_FR.pdf>.
- Millard, K., Redden, A.M., Webster, T. et Stewart, H. (2013) : Use of GIS and high resolution LiDAR in salt marsh restoration site suitability assessments in the upper Bay of Fundy, Canada; Wetlands Ecology and Management, vol. 21, n° 3, p. 243–262. doi:10.1007/s11273-013-9303-9
- Miller, K., Charles, A., Barange, M., Brander, K., Gallucci, V.F., Gasalla, M.A., Khan, A., Munro, G., Murtugudde, R., Ommer, R.E. et Perry, R.I. (2010) : Climate change, uncertainty, and resilient fisheries: institutional responses through integrative science; Progress in Oceanography, vol. 87, n° 1–4, p. 338–346.
- Ministère de l'Écologie et du Développement durable de France (2004) : Les mouvements de terrain—dossier d'information; Collection sur les risques naturels majeurs, Paris, France, 24 p.
- Ministère de l'Énergie et des Mines du Nouveau-Brunswick (2015) : Compilation of coastal erosion in New Brunswick over the last 45 years; Gouvernement du Nouveau-Brunswick, compilé à partir de la base de données sur l'érosion littorale, <http://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/energy/minerals/content/Coastal_mapping.html>.
- Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick (2015) : Érosion côtière; Gouvernement du Nouveau-Brunswick, Indicateurs des changements climatiques, <http://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/ministeres/egl/environnement/content/changements_climatiques/content/indicateurs_des_changements_climatiques/indicateurs/eau/erosion_cotiere.html>.
- Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick (2002) : Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick; Gouvernement du Nouveau-Brunswick, <<http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Water-Eau/PolitiqueProtectionZonesCotieres.pdf>>.
- Ministère des Richesses naturelles du Nouveau-Brunswick (2014) : Politique sur les terres submergées de la Couronne; Gouvernement du Nouveau-Brunswick, 21 p., <<http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/nr-nr/pdf/fr/Publications/CLM0142004.pdf>>.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec (2012) : Gestion intégrée des ressources en eau: cadre de référence; Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, Québec 36 p.
- Ministère du Tourisme et des Parcs du Nouveau-Brunswick (2010) : L'impact économique des dépenses touristiques des visiteurs au Nouveau-Brunswick (2008); Ministère du Tourisme et des Parcs du Nouveau-Brunswick, 19 p., <<http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/thc-tpc/pdf/RSP/2008ImpactEconomiQueRapport.pdf>>.
- Möller, I. et Spencer, T. (2002) : Wave dissipation over macro-tidal saltmarshes: effects of marsh edge topography and vegetation change; Journal of Coastal Research, Special Issue 36, p. 506–521., <<http://www.cerf-jcr.org/images/stories/Wave%20dissipation%20over%20macro-tidal%20saltmarshes.%20Effects%20of%20marsh%20edge%20topology%20and%20vegetation%20change%20Moller%20Spencer%20pp.%20506-521.pdf>>.
- Möller, I., Kudella, M., Rupprecht, F., Spencer, T., Paul, M., van Wesenbeeck, B., Wolters, G., Jensen, K., Bouma, T.J., Miranda-Lange, M. et Schimmels, S. (2014) : Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions; Nature Geoscience, vol. 7, n° 10, p. 727–731.
- MPO [Ministère des Pêches et Océans du Canada] (2010) : Rapport sur l'état et les tendances des écosystèmes marins canadiens en 2010; Ministère des pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de consultation scientifique, Ottawa, Ontario, Avis scientifique 2010/030, 38 p., <http://www.dfo-mpo.gc.ca/CSAS/Csas/publications/sar-as/2010/2010_030_f.pdf>.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2012a) : Rapport du Canada sur l'état des océans, 2012; Pêches et Océans Canada, Centre d'expertise pour les rapports sur l'état des océans, Ottawa, Ontario, 38 p., <http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/coe-cde/soto/report-rapport-2012/SOTO_FR.pdf>.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2012b) : Évaluation fondée sur les risques des impacts et des menaces que les changements climatiques présentent pour l'infrastructure et les systèmes biologiques qui relèvent du mandat de Pêches et Océans Canada – Grand bassin aquatique de l'Atlantique; Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de consultation scientifique, Ottawa, Ontario, Réponse des Sciences 2012/044, 40 p., <http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScRS-2012/2012_044-fra.pdf>.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2013a) : 2010 Info-éclair Pêches canadiennes; Pêches et Océans Canada, Ottawa, Ontario, Statistiques, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/facts-Info-10-fra.htm>>.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2013b) : Carte – tous les ports; Pêches et Océans Canada, Ottawa, Ontario, Ports pour petits bateaux, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/sch-ppb/maps/map-fra.asp?c=a>>.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2013c) : Valeur de la pêche commerciale de la côte atlantique, par région, 2011; Pêches et Océans Canada, Ottawa, Ontario, Pêche commerciale, Débarquements, Pêches maritimes, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/commercial/land-debarq/sea-maritimes/s2011av-fra.htm>>.
- Muise, J., Critchley, J., Rapaport, E. et Manuel, P. (2012) : Physical infrastructure at risk of flooding due to sea level rise and extreme water levels in Yarmouth, Nova Scotia; dans Yarmouth, A Case Study of Adaptation; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 49 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryespace.uepei.ca.acasa/files/Yarmouth%20Part%20-%20-%20Section%20-%20-%20Infrastructure%20-%20August%2030_0.pdf>.
- Municipalité des Îles-de-la-Madeleine (2010) : Érosion des berges – Plan directeur d'intervention; Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, 10 p.
- Municipalité régionale de comté de Sept-Rivières (2005) : Règlement n° 02-2005 : Règlement de contrôle intérimaire relatif aux zones de risque d'érosion littorale en bordure du fleuve Saint-Laurent et de l'estuaire de certaines rivières du territoire de la MRC de Sept-Rivières; Municipalité régionale de comté de Sept-Rivières, Québec, 12 p. et 2 annexes (amendements), <http://www.septrivieres.qc.ca/CLIENTS/1-septrivieres/docs/upload/sys_docs/Reglement_022005_Reglement_de_controle_interimaire.pdf>.
- Neumeier, U., Ruest, B., Lambert, A., Bismuth, E., Dumont, D., Jacob, D., Savard, J.-P. et Joly, S. (2013) : Modélisation du régime des vagues du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent pour l'adaptation des infrastructures côtières aux changements climatiques; rapport rédigé à l'Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski (UQAR) à l'intention du Ministère des Transports du Québec, 253 p., <<http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1143640.pdf>>.
- Nicholls, R.J. (2011) : Planning for the impacts of sea level rise; Oceanography, vol. 24, n° 2, p. 144–157. doi:10.5670/oceanog.2011.34
- Niven, R.J. et Bardsley, D.K. (2013) : Planned retreat as a management response to coastal risk: a case study from the Fleurieu Peninsula, South Australia; Regional Environmental Change, vol. 13, n° 1, p. 193–209. doi:10.1007/s10113-012-0315-4
- Novacek, I., MacFadyen, J., Bardati, D. et MacEachern, K. (2011) : Social and cultural values mapping as a decision-support tool for climate change adaptation; Institute of Island Studies, Université de Prince Edward Island, Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard, 40 p., <http://www.researchgate.net/publication/262537032_Social_and_Cultural_Values_Mapping_as_a_decision-support_tool_for_climate_change_adaptation>.
- Nye, J. (2010) : Climate change and its effects on ecosystems, habitats and biota: state of the Gulf of Maine report; rapport rédigé à l'intention du Gulf of Maine Council on the Marine Environment et la National Oceanic and Atmospheric Administration, 18 p., <<http://www.gulfofmaine.org/2/wp-content/uploads/2014/03/climate-change-and-its-effects-on-ecosystems-habitats-and-biota.pdf>>.
- O'Carroll, S. (2008) : Calcul de l'indice de sensibilité des côtes du Nouveau-Brunswick aux vagues de tempête; Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, de la politique et de la planification, Fredericton, Nouveau-Brunswick, Dossier public OF 2008-5, 73 p.
- O'Carroll, S. (2010a) : Aerial photography geo-referencing and recent coastal evolution of the Rifle Range area (Summerside, Prince Edward Island); rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 35 p., <<http://www.gov.pe.ca/photos/original/ccriflerange.pdf>>.
- O'Carroll, S. (2010b) : Coastal erosion and shoreline classification in Stratford, Prince Edward Island; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 90 p., <<http://www.gov.pe.ca/photos/original/erosionstrat.pdf>>.
- O'Carroll, S. (2015) : Coastal mapping and erosion assessment component; rapport rédigé par Géo Littoral Consultants à l'intention de l'Unama'ki Institute of Natural Resources, Eskasoni, Nouvelle-Écosse, 65 p. et 8 cartes.
- O'Carroll, S., Bérubé, D., Forbes, D.L., Hanson, A., Jolicoeur, S. et Fréchette, A. (2006) : Coastal erosion; chapitre 4.5 dans Impacts of Sea-Level Rise and Climate Change on the Coastal Zone of Southeastern New Brunswick, R.J. Daigle (éd.); Environnement Canada, Ottawa, Ontario, p. 324–401,

<<http://publications.gc.ca/collections/Collection/En84-45-2006F.pdf>>.

- Ollerhead, J., Davidson-Arnott, R.G.D. et Scott, A. (2006) : Cycles of salt marsh extension and contraction, Cumberland Basin, Bay of Fundy, Canada; dans *Geomorfologia Littoral I Cuaternari: Homenatge el Professor V.M. Rossello I Verger*, E. Sanjaume et J.F. Mateu (éd.); Université de Valence, Valence, Espagne, p. 293-305.
- Ollerhead, J., Davidson-Arnott, R.G.D., Walker, I.J. et Mathew, S. (2013) : Annual to decadal morphodynamics of the foredune system at Greenwich Dunes, Prince Edward Island, Canada; *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 38, n° 3, p. 284-298. doi:10.1002/esp.3327
- Ouranos (2010) : Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques – Guide destiné au milieu municipal québécois; Ouranos, Montréal, Québec, 45 p., <http://www.ouranos.ca/media/publication/124_PlanadaptationCC-Guidemunicipalites-Ouranos.pdf>.
- Overeem, I., Anderson, R.S., Wobus, C.W., Clow, G.D., Urban, F.E. et Matell, N. (2011) : Sea ice loss enhances wave action at the Arctic coast; *Geophysical Research Letters*, vol. 38, n° 17, art. L17503. doi:10.1029/2011GL048681
- Pankhurst, N.W. et Munday, P.L. (2011) : Effects of climate change on fish reproduction and early life history stages; *Marine and Freshwater Research*, vol. 62, n° 9, p. 1015-1026. doi:10.1071/MF10269
- Parcs Canada (2007) : Parc national du Canada de l'Île-du-Prince-Édouard et lieu historique national du Canada de Dalvay-by-the-Sea, Plan directeur; Parcs Canada, Ottawa, Ontario, 75 p., <http://www.pc.gc.ca/~media/pn-np/pei/pei-ipe/o-z/pd-mp_f.ashx>.
- Parkes, G.S. et Ketch, L.A. (2002) : Storm-surge climatology; chapitre 2 dans *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, M. McCulloch, D.L. Forbes et R.D. Shaw (éd.); Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 4261, 86 p., <<http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=213246>>.
- Parkes, G.S., Forbes, D.L. et Ketch, L.A. (2002) : Sea-level rise; chapitre 1 dans *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, M. McCulloch, D.L. Forbes et R.D. Shaw (éd.); Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 4261, 39 p., <<http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=213246>>.
- Parkes, G.S., Ketch, L.A. et O'Reilly, C.T. (1997) : Storm surge events in the Maritimes; comptes rendus de la Conférence canadienne sur le littoral 1997, M.G. Skafel (éd.), 21 au 24 mai 1997, Guelph, Ontario, p. 115-129.
- Parmesan, C. et Yohe, G. (2003) : A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems; *Nature*, vol. 421, n° 6918, p. 37-42.
- Paskoff, R., Clus-Auby, C. et Battiau-Queney, Y. (2011) : Jusqu'où la mer va-t-elle monter? Les petites pommes du savoir n° 53, Éditions Le Pommier, Paris, France, 62 p.
- Pastore, R. (1987) : Excavations at Inspector Island, 1987: a preliminary report; *Archaeology in Newfoundland and Labrador 1987*, J.C. Thomson et J.S. Thomson (éd.); Government of Newfoundland and Labrador, Historic Resources Division, Annual Report 8.
- Pendleton, E.A., Thieler, E.R. et Williams, S.J. (2010) : Importance of coastal change variables in determining vulnerability to sea- and lake- level change; *Journal of Coastal Research*, vol. 26, n° 1, p. 176-183.
- Phan, H.T.T. (2011) : Mapping of shallow coastal groundwaters, their hydrology and environmental geochemistry: pumicestone catchment, southeast Queensland; thèse de maîtrise, Queensland University of Technology, Brisbane, Australie, 124 p., <http://eprints.qut.edu.au/49165/1/Ha_Thi_Thu_Phan_Thesis.pdf>.
- Pilkey, O.H. et Young, R. (2009) : *The Rising Sea*; Island Press, Washington, District de Columbia, 224 p.
- Pollard-Belsheim, A., Storey, M., Robinson, C. et Bell, T. (2014) : The CARRA project: developing tools to help heritage managers identify and respond to coastal hazard impacts on archaeological resources; comptes rendus de la Conférence Oceans '14, 14 au 19 septembre 2014, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, p. 1-4. doi:10.1109/OCEANS.2014.7003289
- Pontee, N. (2013) : Defining coastal squeeze: a discussion; *Ocean & Coastal Management*, vol. 84, p. 204-207.
- Pörtner, H.-O., Karl, D.M., Boyd, P.W., Cheung, W.W.L., Lluich-Cota, S.E., Njirji, Y., Schmidt, D.N. et Zavialov, P.O. (2014) : Ocean systems; chapitre 6 dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 410-484, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap6_FINAL.pdf>.
- Quinn, N.L., McGowan, C.R., Cooper, G.A., Koop, B.F. et Davidson, W.S. (2011) : Identification of genes associated with heat tolerance in Arctic char exposed to acute thermal stress; *Physiological Genomics*, vol. 43, n° 11, p. 685-696.
- Quintin, C. (2010) : Effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux du barachois de la rivière Nouvelle, baie des Chaleurs, Québec; thèse de maîtrise, Université du Québec à Rimouski (UQAR), Rimouski, Québec, 103 p., <http://semaphore.uqar.ca/391/1/Chantal_Quintin_avril2010.pdf>.
- Quintin, C., Bernatchez, P. et Jolivet, Y. (2013) : Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes du Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs; rapport rédigé par la Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski (UQAR) à l'intention du Ministère de la Sécurité publique du Québec, Volumes I (48 p.) and II (170 p.).
- Rabalais, N.N., Diaz, R.J., Levin, L.A., Turner, R.E., Gilbert, D. et Zhang, J. (2010) : Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia; *Biogeosciences*, vol. 7, n° 2, p. 585-619. doi:10.5194/bg-7-585-2010
- Rabalais, N.N., Turner, R.E., Diaz, R.J. et Justic, D. (2009) : Global change and eutrophication of coastal waters; *ICES Journal of Marine Science*, vol. 66, n° 7, p. 1528-1537.
- Rao Nageswara, K., Subrauelu, P., Rao Venkateswara, T., Hema Malini, B., Ratheesh, R., Bhattacharya, S. et Rajawat, A.S. (2008) : Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS; *Journal of Coastal Conservation*, vol. 12, n° 4, p. 195-207.
- Rapaport, E., Manuel, P. et Keefe, J. (2013) : Implications of sea level rise and extreme flooding impacts in rural coastal communities with aging populations: case studies from Nova Scotia; Agence de santé publique du Canada, Nova Scotia Department of Environment et Nova Scotia Department of Seniors, 269 p.
- Reid, G.K. et Jackson, T. (2014) : Climate change implications for aquaculture management and research; présentation orale donnée à Climate Change and Aquaculture: A Science Symposium to Communicate Current Research and Science Activities to the Atlantic Region's Aquaculture Industry, 11 mars 2014; Université de Prince Edward Island, Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard, <http://www.aquaculture-pei.com/media/pdfs/3_Jackson.pdf>.
- Reid, G.K., Filgueira, R. et Garber, A. (2015) : Revisiting temperature effects on aquaculture in light of pending climate change; dans *Aquaculture Canada 2014: Proceedings of Contributed Papers*, J. Wade, T. Jackson et K. Brewer (éd.); Bulletin de l'Association aquacole du Canada 2015-1, p. 85-92, <<http://www.aquaculture-reassociation.ca/assets/Uploads/AC14-Proceedings-Bulletin-2015-1.pdf>>.
- Rémillard, A.M., Touchette, M., Chaillou, G. et Hétu, B. (2012) : Portrait géographique des îles-de-la-Madeleine; chapitre 2 dans *La gestion durable de l'eau souterraine aux îles-de-la-Madeleine*; Université du Québec à Rimouski (UQAR), p. 28-66, <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/nappes_phreatiques_%C3%AE-les-de-la-madeleine/documents/PR3_chapitre2.pdf>.
- Restore America's Estuaries (2015) : Living shorelines: from barriers to opportunities; Restore America's Estuaries, Arlington, Virginie, 54 p., <https://www.estuaries.org/images/stories/RAERreports/RAE_LS_Barriers_report_final.pdf>.
- Richards, W. et Daigle, R.J. (2011) : Scenarios and guidance for adaptation to climate change and sea level rise – NS and PEI municipalities; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 78 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/ACASA%20Scenarios%20and%20Guidance%20for%20Adaptation%20NS%20and%20PEI_1.pdf>.
- Rivard, C., Michaud, Y., Lefebvre, R., Deblonde, C. et Rivera, A. (2008) : Characterization of a regional aquifer system in the Maritimes Basin, eastern Canada; *Water Resource Management*, vol. 22, n° 11, p. 1649-1675. doi:10.1007/s11269-008-9247-7
- Robichaud, A., Simard, I., Doiron, A. et Chelbi, M. (2011) : Infrastructures à risque dans trois municipalités de la Péninsule acadienne – Volet 3 du projet Péninsule acadienne; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 56 p., <http://www.csrpa.ca/sites/default/files/fichiers/infrastructures_a_risque_dans_les_trois_municipalites_de_la_peninsule_acadienne.pdf>.
- Rockwell, L.S., Jones, K.M. et Cone, D.K. (2009) : First record of *Anguillicoloides crassus* (Nematoda) in American eels (*Anguilla rostrata*) in Canadian estuaries, Cape Breton, Nova Scotia; *Journal of Parasitology*, vol. 95, n° 2, p. 483-486. doi:10.1645/GE-1739.1
- Rose, G.A., deYoung, B., Kulka, D.W., Goddard, S.V. et Fletcher, G.L. (2000) : Distribution shifts and overfishing the northern cod (*Gadus morhua*): a view from the ocean; *Revue canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, n° 3, p. 644-663.
- Sandink, D. (2011) : Insurance issues in Atlantic Canada; rapport rédigé à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 23 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Insurance%20Issues%20in%20Atlantic%20Canada.pdf>>.

- Savard, J.-P. et Bourque, A. (2008) : Adapter les zones côtières aux changements climatiques : de la consultation à l'action; X^e Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, 14 au 16 octobre 2008, Sophia Antipolis, France, p. 487-501, <http://www.paralia.fr/jngcgc/10_47_savard.pdf>.
- Savard, J.-P. et Bourque, A. (2010) : Adapter les zones côtières aux changements climatiques : de la consultation à l'action; European Journal of Environmental and Civil Engineering, olv. 14, n° 2, p. 219-232. doi:10.1080/19648189.2010.9693214
- Savard, J.-P., Bernatchez, P., Morneau, F. et Saucier, F. (2009) : Vulnérabilité des communautés côtières de l'est du Québec aux impacts des changements climatiques; La houille blanche, vol. 2, p. 59-66. doi:10.1051/lhb:2009015
- Savard, J.-P., Bernatchez, P., Morneau, F., Saucier, F., Gachon, P., Senneville, S., Fraser, C. et Jolivet, Y. (2008) : Étude de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques: synthèse des résultats; Ouranos, Montréal, Québec 48 p., <http://www.ouranos.ca/media/publication/20_Rapport_Savard_maritime_2008.pdf>.
- Savard, J.-P., Gachon, P., Rosu, C., Aider, R., Martin, P. et Saad, C. (2014) : Impact des changements climatiques sur le régime des tempêtes, les niveaux d'eau et les vagues dans le Nunavik; Ministère des Transports du Québec, Québec, Québec, 109 p., <http://www.ouranos.ca/media/publication/357_RapportSavard2014.pdf>.
- Scarratt, M. et Starr, M. (2012) : Ocean acidification impacts in the Gulf of St. Lawrence; section 5.2 dans *State-of-the-Ocean Report for the Gulf of St. Lawrence Integrated Management (GOSLIM) Area*, H.P. Benoit, J.A. Gagné, C. Savenkoff, P. Ouellet, et M.-N. Bourassa (éd.); Pêches et Océans Canada, Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2986, p. 15-24, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/345310.pdf>>.
- Schauffler, F.M. (2014) : Municipal climate change adaptation around the Bay of Fundy: status and needs; Gulf of Maine Council on the Marine Environment, 42 p., <<http://www.gulfofmaine.org/2/wp-content/uploads/2014/03/Bay-of-Fundy-Adaptation-Report.pdf>>.
- Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Rhône-Méditerranée-Corse (2005) : Guide technique n°9 – Connaissance et gestion de l'érosion du littoral; EID Méditerranée et Service maritime et de navigation du Languedoc-Roussillon de France, Lyon, France, 52 p., <<http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/scdge-2005-gestion-littoral.pdf>>.
- Sécurité publique Canada (2014) : Base de données canadienne sur les catastrophes; Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, <<http://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrsc/cndn-dsstr-dtbs/index-fra.aspx>>.
- Seiden, J., Wilke, K. et Schneider, D. (2012) : Lobster sustainability measures in Newfoundland: are they effective?; Community-University Research for Recovery Alliance (CURRA), Université Memorial, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, 11 p., <<http://www.curra.ca/documents/LobstersummaryJennicaSeiden.pdf>>.
- Senneville, S., St-Onge, S., Dumont, D., Bihan-Poudec, M.-C., Belemaleem, Z., Corriveau, M., Bernatchez, P., Bélanger, S., Tolszczuk-Leclerc, S. et Villeneuve, R. (2014) : Rapport final : Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques; rapport rédigé à l'Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski (UQAR) à l'intention du Ministère des Transports du Québec., 384 p., <<http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1147874.pdf>>.
- Shackell, N.L., Greenan, B.J.W., Pepin, P., Chabot, D. et Warburton, A., éditeurs (2013) : Climate change impacts, vulnerabilities and opportunities analysis of the marine Atlantic Basin; Pêches et Océans Canada, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3012, 366 p., <http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/mpo-dfo/Fs97-4-3012-eng.pdf>.
- Shaw, J., Gareau, P. et Courtney, R.C. (2002) : Paleogeography of Atlantic Canada 13-0 kyr; Quaternary Science Reviews, vol. 21, n° 16-17, p. 1861-1878.
- Shelton, C. (2014) : Climate change adaptation in fisheries and aquaculture – compilation of initial examples; Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, FAO Fisheries and Aquaculture Circular 1088, 34 p., <<http://www.fao.org/3/content/854fd26e-f5ed-51fb-9a75-9f819e88d1a3/i3569e.pdf>>.
- Sherman, K., Belkin, I., Friedland, K.D., O'Reilly, J. et Hyde, K. (2009) : Accelerated warming and evergent trends in fisheries biomass yields of the world's large marine ecosystems; AMBIO: A Journal of the Human Environment, vol. 38, n° 4, p. 215-224. doi:10.1579/0044-7447-38.4.215
- Signer, K., Reeder, K. et Killorn, D. (2014) : Community vulnerability assessment of climate change and variability impacts in Charlotte County, New Brunswick; Eastern Charlotte Waterways Inc., 187 p., <http://www.ecwinc.org/new/wp-content/uploads/2014/12/ECW_CCCVA_Final_2014.pdf>.
- Simms, A. (2002) : GIS and aquaculture: assessment of soft-shell clam sites; Journal of Coastal Conservation, vol. 8, n° 1, p. 35-48.
- Smithers, J. et Smit, B. (1997) : Human adaptation to climatic variability and change; Global Environmental Change, vol. 7, n° 2, p. 129-146.
- Spalding, M.D., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L.Z., Shepard, C.C. et Beck, M.W. (2014) : The role of ecosystems in coastal protection: adapting to climate change and coastal hazards; Ocean & Coastal Management, vol. 90, p. 50-57.
- Statistique Canada (2012) : Activité portuaire; Statistique Canada, Ottawa, Ontario, <<http://www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/120228/dq120228b-fra.htm>>.
- Statistique Canada (2014a) : Population des régions métropolitaines de recensement; Statistique Canada, Ottawa, Ontario, <<http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/102/cst01/demo05a-fra.htm>>.
- Statistique Canada (2014b) : Tableau 1-5 : la production et la valeur de l'aquaculture, par province et le Canada – 2013; Statistique Canada, Ottawa, Ontario, <<http://www.statcan.gc.ca/pub/23-222-x/2013000/t053-fra.htm>>.
- Stéphan, P., Suanez, S. et Fichaut, B. (2010) : Franchissement et migration des cordons de galets par rollover: impacts de la tempête du 10 mars 2008 dans l'évolution récente du Sillon de Talbert (Côtes-d'Armor, Bretagne); Norois, vol. 215, n° 2010/2, p. 59-75. doi: 10.4000/noroi.3252
- Sterr, H. (2008) : Assessment of vulnerability and adaptation to sea-level rise for the coastal zone of Germany; Journal of Coastal Research, vol. 24, n° 2, p. 380-393.
- Stewart, P.L. et White, L. (2001) : A review of contaminants on the Scotian Shelf and in adjacent coastal waters: 1970 to 1995; Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 2351, 158 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/261398.pdf>>.
- Stien, A., Bjorn, P.A., Heuch, P.A. et Elston, D.A. (2005) : Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout; Marine Ecology Progress Series, vol. 290, p. 263-275, <<http://www.int-res.com/articles/meps2005/290/m290p263.pdf>>.
- Stimson, M., Lucas, S. et Melanson, G. (2012) : The smallest known tetrapod footprints: *batrachichnus salamandroides* from the carboniferous of Joggins, Nova Scotia, Canada; Ichnos, vol. 19, n° 3, p. 127-140. doi: 10.1080/10420940.2012.685206
- Swail, V.R., Cardone, V.J., Ferguson, M., Gummer, D.J., Harris, E.L., Orelup, E.A. et Cox, A.T. (2006) : The MSC50 wind and wave reanalysis; 9th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, 25 au 29 septembre 2006, Victoria, Colombie-Britannique, 28 p., <<http://www.oceanweather.com/about/papers/The%20MSC50%20Wind%20and%20Wave%20Reanalysis.pdf>>.
- Taylor, R.B. (2014) : Impacts of the February 9, 2013 storm along the Atlantic coast of Nova Scotia; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 7597, 23 p., <http://ftp2.cits.mcan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/293/293916/of_7597.pdf>.
- Taylor, R.B. et Frobel D. (2009) : South Bay Ingonish and Black Brook Cove beaches, Cape Breton Island, Nova Scotia; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 6268, 91 p., <http://ftp2.cits.mcan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/248/248187/of_6268.pdf>.
- Taylor, R.B., Forbes, D.L., Frobel, D., Shaw, J. et Parkes, G. (1997) : Hurricane Hortense strikes Atlantic Nova Scotia: an examination of beach response and recovery; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 3503, poster, <http://ftp2.cits.mcan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/210/210105/of_3503.pdf>.
- Taylor, R.B., Frobel, D., Forbes, D.L. et Mercer, D. (2008) : Impacts of post-tropical storm Noel (November, 2007) on the Atlantic coastline of Nova Scotia; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 5802, 86 p., <http://ftp2.cits.mcan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/225/225116/of_5802.pdf>.
- Teclut Inc. (2008) : Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles; rapport final remis à la Ville de Sept-Îles, Québec, 146 p.
- Thompson, K.R., Bernier, N.B. et Chan, P. (2009) : Extreme sea levels, coastal flooding and climate change with focus on Atlantic Canada; Natural Hazards, vol. 51, n° 1, p. 139-150. doi:10.1007/s11069-009-9380-5
- Tibbetts, J.R. et van Proosdij, D. (2013) : Development of a relative coastal vulnerability index in a macro-tidal environment for a climate change adaptation; Journal of Coastal Conservation, vol. 17, n° 4, p. 775-797.
- Todd, C.D., Hughes, S.L., Marshall, C.T., MacLean, J.C., Lonergan, M.E. et Biuw, E.M. (2008) : Deterimental effects of recent ocean surface warming on growth condition of Atlantic salmon; Global Change Biology, vol. 14, n° 5, p. 958-970.
- Torio, D.D. et Chmura, G.L. (2013) : Assessing coastal squeeze of tidal wetlands; Journal of Coastal Research, vol. 29, n° 5, p. 1049-1061. doi:10.2112/jcoasters-d-12-00162.1
- Tourism Industry Association of Prince Edward Island (2014) : Summary of PEI tourism expenditures estimation, 1 p., <[http://www.tiapei.pe.ca/userfiles/file/PEI_Tourism_Expenditures_2005_to_2014\(F\).pdf](http://www.tiapei.pe.ca/userfiles/file/PEI_Tourism_Expenditures_2005_to_2014(F).pdf)>.

- Tourisme Québec (2014) : Stratégie de mise en valeur du Saint-Laurent touristique 2014–2020 et plan d'action 2014–2017; document rédigé par le Groupe de travail mixte Saint-Laurent à l'intention de Tourisme Québec, 76 p., <<http://www.tourisme.gouv.qc.ca/publications/media/document/publications-administratives/strategie-saint-laurent.pdf>>.
- Troude, J.P. et Sérodes, J.B. (1988) : Le rôle des glaces dans le régime morpho-sédimentologique d'un estuaire de l'estuaire moyen du Saint-Laurent; *Revue canadienne de génie civil*, vol. 15, n° 3, p. 348–354.
- Utting, D.J. et Gallacher, A.F. (2009) : Coastal environments and erosion in southwest St. Georges Bay, Antigonish County; dans *Mineral Resources Branch Report of Activities 2008*, D.R. MacDonald et K.A. Mills (éd.); Nova Scotia Department of Natural Resources, Report ME 2009-1, p. 139–149, <http://novascotia.ca/natr/meb/data/pubs/09re01/09re01_20Utting.pdf>.
- van Proosdij, D. (2013) : Vulnerability assessment and analysis of options for climate change adaptation in NS68 (Tregothic) marsh bodies; Nova Scotia Department of Environment et Nova Scotia Department of Agriculture, Halifax, Nouvelle-Écosse, 46 p.
- van Proosdij, D. et Baker, G. (2007) : Intertidal morphodynamics of the Avon river estuary; rapport rédigé à l'Université Saint Mary's à l'intention du Nova Scotia Department of Transportation and Public Works, 186 p., <http://novascotia.ca/tran/highways/3_Mile_Plains_to_Falmouth/SMU_2007%20Avon%20Estuary%20Report.pdf>.
- van Proosdij, D. et Page, S. (2012) : Best management practices for climate change adaptation in dykelands: recommendations for Fundy ACAS sites; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 149 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoverspace.uepei.ca.acasa/files/Best%20Management%20Practices%20for%20Climate%20Change%20Adaptation%20in%20Dykelands_0.pdf>.
- van Proosdij, D. et Townsend, S. (2006) : Spatial and temporal patterns of salt marsh colonization following causeway construction in the Bay of Fundy; *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39, p. 1858–1862.
- van Proosdij, D., Bowron, T. et Neatt, N. (2014) : Development and application of guidelines for managed realignment to maximize adaptive capacity and ecosystem services; Environnement Canada, 100 p., exposé sommaire disponible à l'adresse <<http://atlanticclra.ca/wp-content/uploads/2014/12/CBWES-ARC-MR-Presentation-Oct-30-2014-.pdf>>.
- van Proosdij, D., Lundholm, J., Neatt, N., Bowron, T. et Graham, J. (2010) : Ecological re-engineering of a freshwater impoundment for salt marsh restoration in a hypertidal system; *Ecological Engineering*, vol. 36, n° 10, p. 1314–1332. doi:10.1016/j.ecoleng.2010.06.008
- van Proosdij, D., Milligan, T., Bugden, G. et Butler, K. (2009) : A tale of two macro tidal estuaries: differential morphodynamic response of the intertidal zone to causeway construction; *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56, p. 772–776.
- van Proosdij, D., Ollerhead, J. et Davidson-Arnott, R.G.D (2006) : Seasonal and annual variations in the sediment mass balance of a macro-tidal salt marsh; *Marine Geology*, vol. 225, n° 1–4, p. 103–127.
- Vasseur, L. et Catto, N. (2008) : Canada atlantique; chapitre 4 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éd.); Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 119–170, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch4_f.pdf>.
- Vasseur, L. et Tremblay, É. (2014) : Coastal ecosystems in Kouchibouguac National Park of Canada: adaptation possibilities for protecting traditional knowledge of a local community; chapitre 4 dans *Safe Havens: Protected Areas for Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation*, R. Murti et C. Buyck (éd.); Union internationale pour la conservation de la nature, Gland, Suisse, p. 33–40, <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-038.pdf>>.
- Vincent, L.A., Wang, X.L., Milewska, E.J., Wan, H., Yang, F. et Swail, V. (2012) : A second generation of homogenized Canadian monthly surface air temperature for climate trend analysis; *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 117, art. D18110. doi:10.1029/2012JD017859
- Wahle, R.A., Battison, A., Barnatchez, S., Castro, K., Grabowski, J.H., Greenwood, S.J., Guenther, C., Rochette, R. et Wilson, J. (2013) : The American lobster in a changing system: a US-Canada science symposium, November 27–30, 2012, Portland, Maine; *Revue canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 70, n° 11, p. 1571–1575. doi:10.1139/cjfas-2013-0465
- Waldbusser, G.G., Bergschneider, H. et Green, M.A. (2010) : Size-dependent pH effect on calcification in post-larval hard clam *Mercenaria* spp.; *Marine Ecology Progress Series*, vol. 417, p. 171–182.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzels, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O. et Bairlein, F. (2002) : Ecological responses to recent climate change; *Nature*, vol. 416, n° 6879, p. 389–395.
- Webster, T. (2012) : Coastline change in Prince Edward Island, 1968–2010 and 2000–2010; rapport rédigé à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 36 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoverspace.uepei.ca.acasa/files/ACASA%20PEI%20Coastal%20Change%20from%201968-2010%20and%202000-2010_2.pdf>.
- Webster, T., Cowell, N., McGuigan, K. et Collins, K. (2012a) : Integrated river and coastal hydrodynamic flood risk mapping; rapport rédigé à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 43 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoverspace.uepei.ca.acasa/files/Integrated%20River%20and%20Coastal%20Hydrodynamic%20Flood%20Risk%20Mapping_0.pdf>.
- Webster, T., Kongwongthai, M. et Crowell, N. (2012b) : An evaluation of flood risk to infrastructure across the Chignecto isthmus; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 44 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoverspace.uepei.ca.acasa/files/FloodRiskInfrastructure_Chignectolsthmus_FinalDec2012.pdf>.
- Weissenberger, S. et Chouinard, O. (2015) : Adapting to climate change and sea level rise: the case study of coastal communities in New Brunswick, Canada; *Springer Briefs in Environmental Science*, 100 p.
- Westley, K., Bell, T., Renouf, M.A.P. et Tarasov, L. (2011) : Impact assessment of current and future sea-level change on coastal archaeological resources – illustrated examples from northern Newfoundland; *Journal of Island and Coastal Archaeology*, vol. 6, n° 3, p. 351–374. doi:10.1080/15564894.2010.520076
- Wilson, J., Trenholm, R., Bornemann, J. et Lieske, D. (2012) : Forecasting economic damages from storm surge flooding: a case study in the Tantramar region of New Brunswick; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 59 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoverspace.uepei.ca.acasa/files/Tantramar-ForecastingEconomicDamages-MtA-2012.pdf>>.
- Wollenburg, Z., Rapaport, E. et Manuel, P. (2012) : Incorporating social value into climate change adaptation planning in Yarmouth, Nova Scotia; partie 2, section 4 dans *Yarmouth: A Case Study in Climate Change Adaptation*, P. Manuel, E. Rapaport, M. Cochran, J. Critchley, J.A. Johnston, J. Muise et Z. Wollenberg (éd.); rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 70 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoverspace.uepei.ca.acasa/files/Yarmouth%20Part%202%20-%20Section%204%20-%20Assets%20Valuation%20-%20August%2030_1.pdf>.
- Yevdokimov, Y.V. (2008) : Modeling climate change and demand for freight transportation in Atlantic Canada; *Traffic and Transportation Studies* (2008), p. 310–319. doi:10.1061/40995(322)29
- Yin, J. (2012) : Century to multi-century sea level rise projections from CMIP5 models; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, n° 17, art. L17709. doi:10.1029/2012GL052947
- Xu, F. et Perrie, W. (2012) : Extreme waves and wave run-up in Halifax Harbour under climate change scenarios; *Atmosphere-Ocean*, vol. 50, n° 4, p. 407–420.
- Xu, Z., Lefavre, D. et Beaulieu, M. (2012) : Water levels and their extreme values in the Gulf of St. Lawrence and its vicinity concerning climate change vulnerability; *Pêches et Océans*, Service hydrographique du Canada–région du Québec, 18 p.
- Zhang, G., Fang, X., Guo, X., Li, L., Luo, R., Xu, F., Yang, P., Zhang, L., Wang, X., Qi, H., Xiong, Z., Que, H., Xie, Y., Holland, P.W.H., Paps, J., Zhu, Y., Wu, F., Chen, Y., Wang, J., Peng, C., Meng, J., Yang, L., Liu, J., Wen, B., Zhang, N., Huang, Z., Zhu, Q., Feng, Y., Mount, A., Hedgecock, D., Xu, Z., Liu, Y., Domazet-Lozo, T., Du, Y., Sun, X., Zhang, S., Liu, B., Cheng, P., Jiang, X., Li, J., Fan, D., Wang, W., Fu, W., Wang, T., Wang, B., Zhang, J., Peng, Z., Li, Y., Li, N., Wang, J., Chen, M., He, Y., Tan, F., Song, X., Zheng, Q., Huang, R., Yang, H., Du, X., Chen, L., Yang, M., Gaffney, P.M., Wang, S., Luo, L., She, Z., Ming, Y., Huang, W., Zhang, S., Huang, B., Zhang, Y., Qu, T., Ni, P., Miao, G., Wang, J., Wang, Q., Steinberg, C.E.W., Wang, H., Li, N., Qian, L., Zhang, G., Li, Y., Yang, H., Liu, X., Wang, J., Yin, Y. et Wang, J. (2012) : The oyster genome reveals stress adaptation and complexity of shell formation; *Nature*, vol. 490, p. 49–54.

ANNEXE A

PRÉVISIONS DU NIVEAU DE LA MER POUR DES ENDROITS CHOISIS DE LA RÉGION DE LA CÔTE EST

Les changements dans le niveau de la mer relatif prévus jusqu'en 2100 sont fournis ici pour 19 endroits, indiqués sur la carte jointe (figure A1), dans la région de la côte Est (d'après James et al., 2014, 2015; section 3.1 et voir le chapitre 2 pour obtenir des détails sur les prévisions). Les prévisions du niveau de la mer (figure A2) sont fondées sur le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (Church et al., 2013) et ont été produites en utilisant le déplacement vertical de la croûte terrestre tiré des observations au GPS.

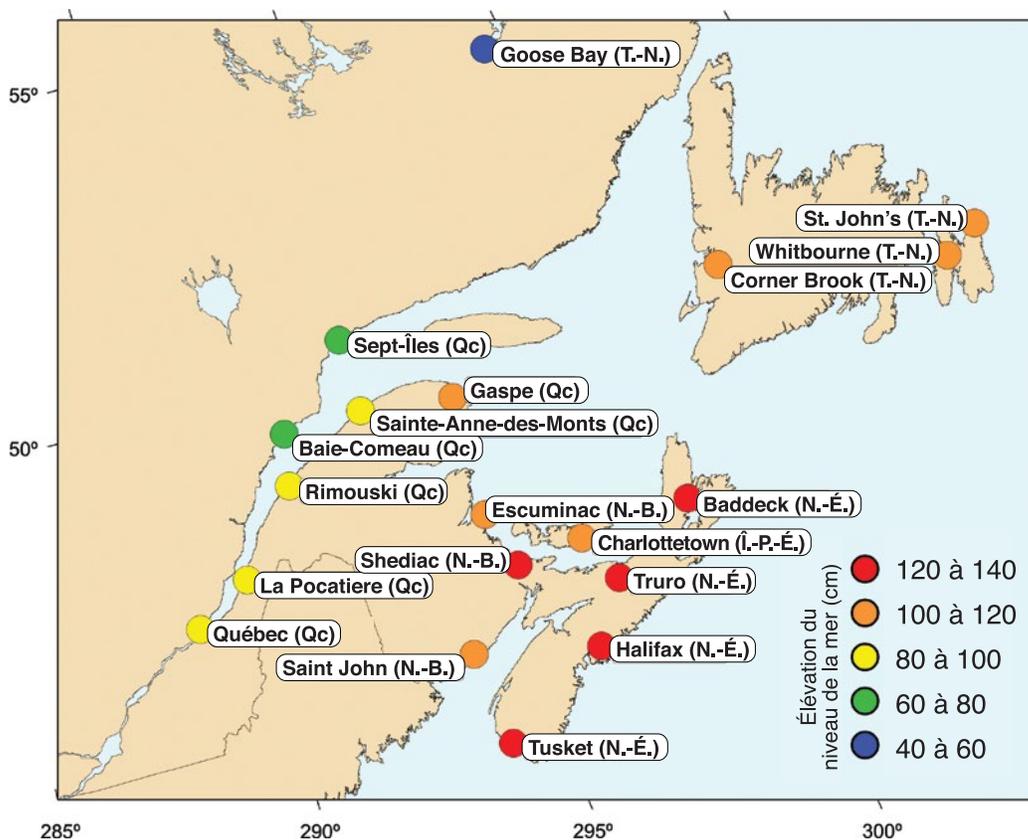


FIGURE A1 : Lieux pour lesquels les prévisions du niveau de la mer sont fournies pour tout le XXI^e siècle (figure A2). Les points suivent un code de couleur pour indiquer le changement prévu du niveau de la mer en 2100 pour le 95^e centile du scénario à émissions élevées (RCP8.5; selon James et al., 2014, 2015).

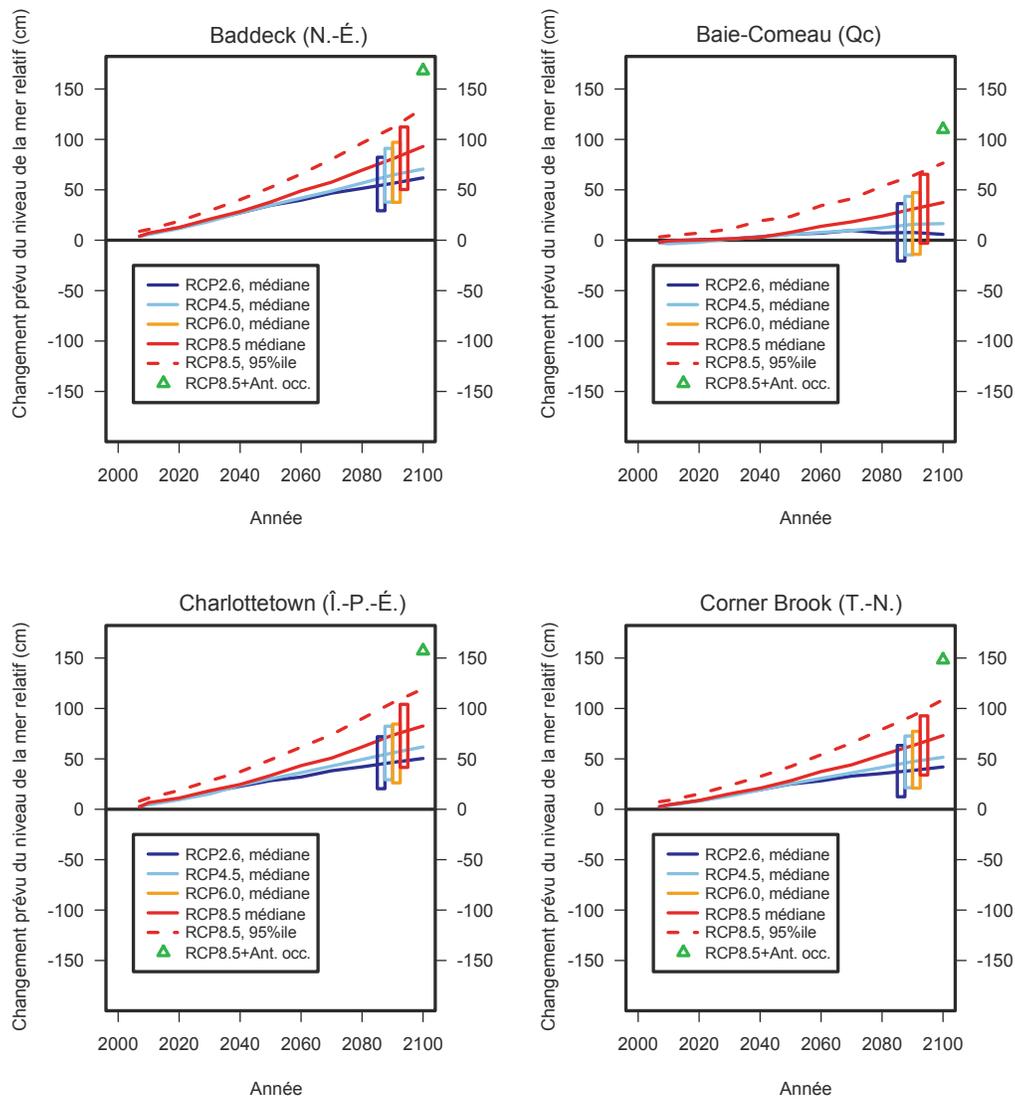
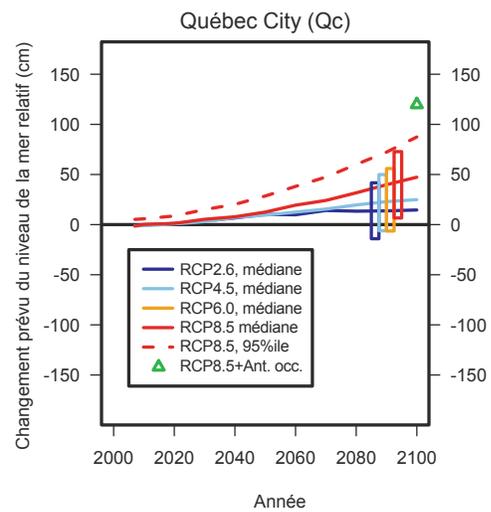
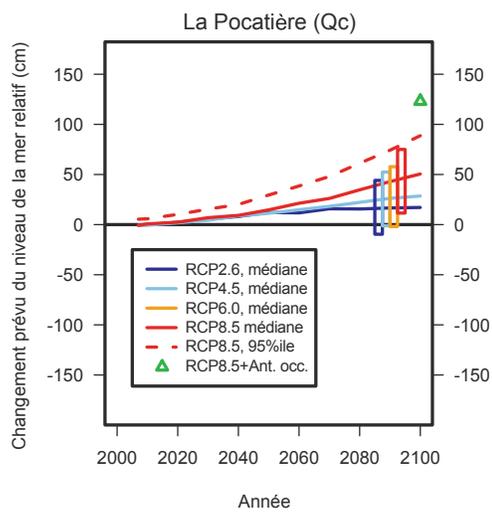
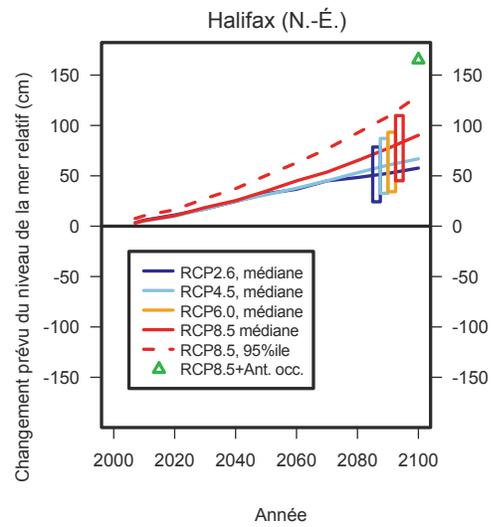
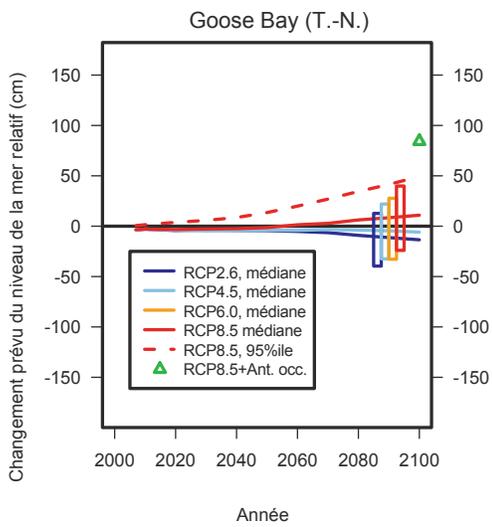
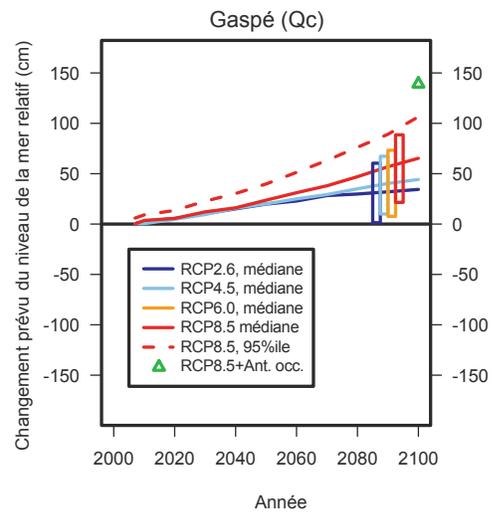
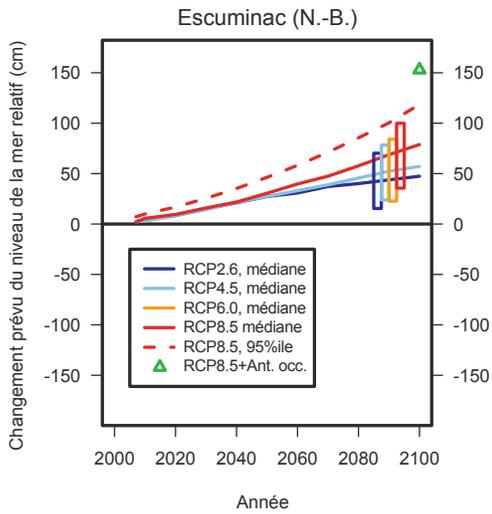
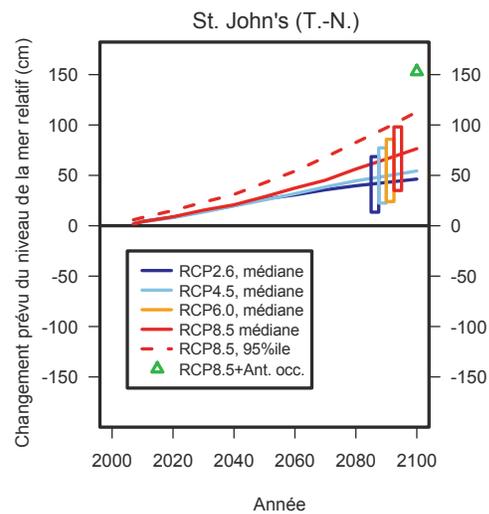
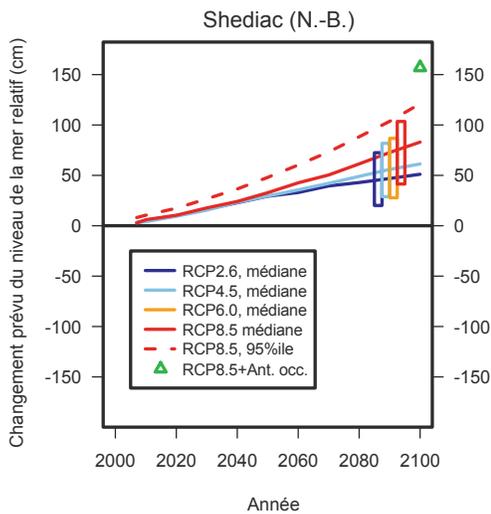
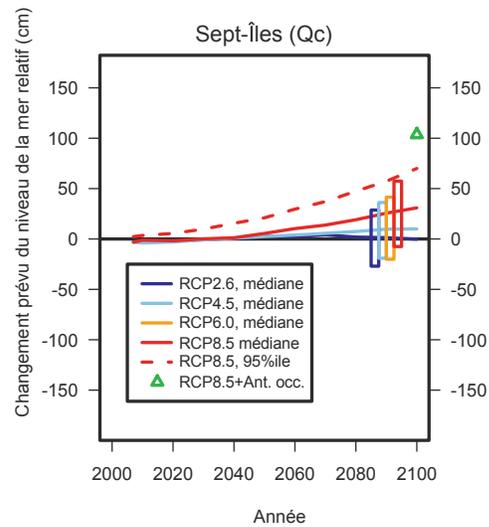
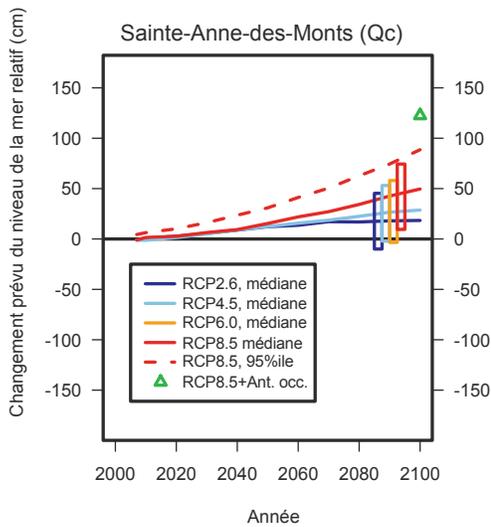
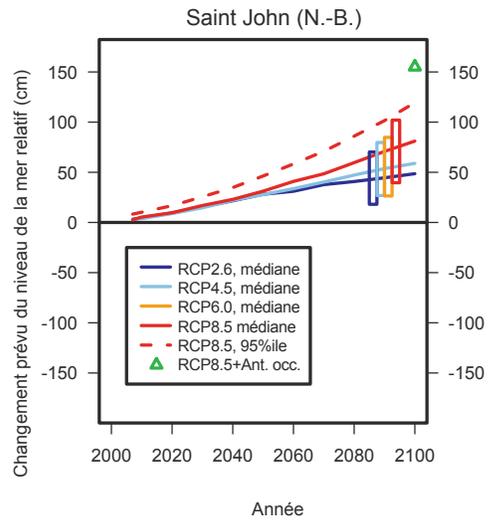
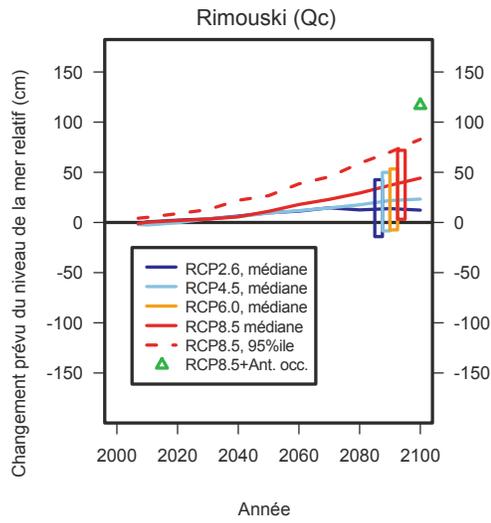


FIGURE A2 : Changements prévus du niveau relatif de la mer pendant tout le XXI^e siècle pour des endroits choisis dans la région de la côte Est (tiré de James et al., 2014, 2015). Le RCP2.6 est le scénario de réduction explicite des émissions, le RCP4.5 est le scénario de maintien du statu quo et le RCP8.5 est le scénario à émissions élevées. La valeur prévue pour 2100 est indiquée pour un scénario augmenté dans lequel l'Antarctique occidental apporte une contribution supplémentaire de 65 cm à la valeur médiane prévue du scénario à émissions élevées (RCP8.5+Ant. occ.; triangle vert). Les rectangles montrent l'intervalle de confiance de 90 % (de 5 à 95 %) de la prévision moyenne entre 2081 et 2100 et comprennent le RCP6.0. Les rectangles sont décalés pour assurer la clarté de la présentation, mais concernent l'année médiane de 2090. Le pointillé rouge indique la valeur du 95^e centile pour le scénario à émissions élevées. Les provisions du gouvernement de la Colombie-Britannique pour l'élévation du niveau de la mer (Ligne directrice de la C.-B.) sont également indiquées (Ausenco Sandwell, 2011b). Abréviations : 95^e centile, 95^e centile.

suite à la page suivante



suite à la page suivante



suite à la page suivante

