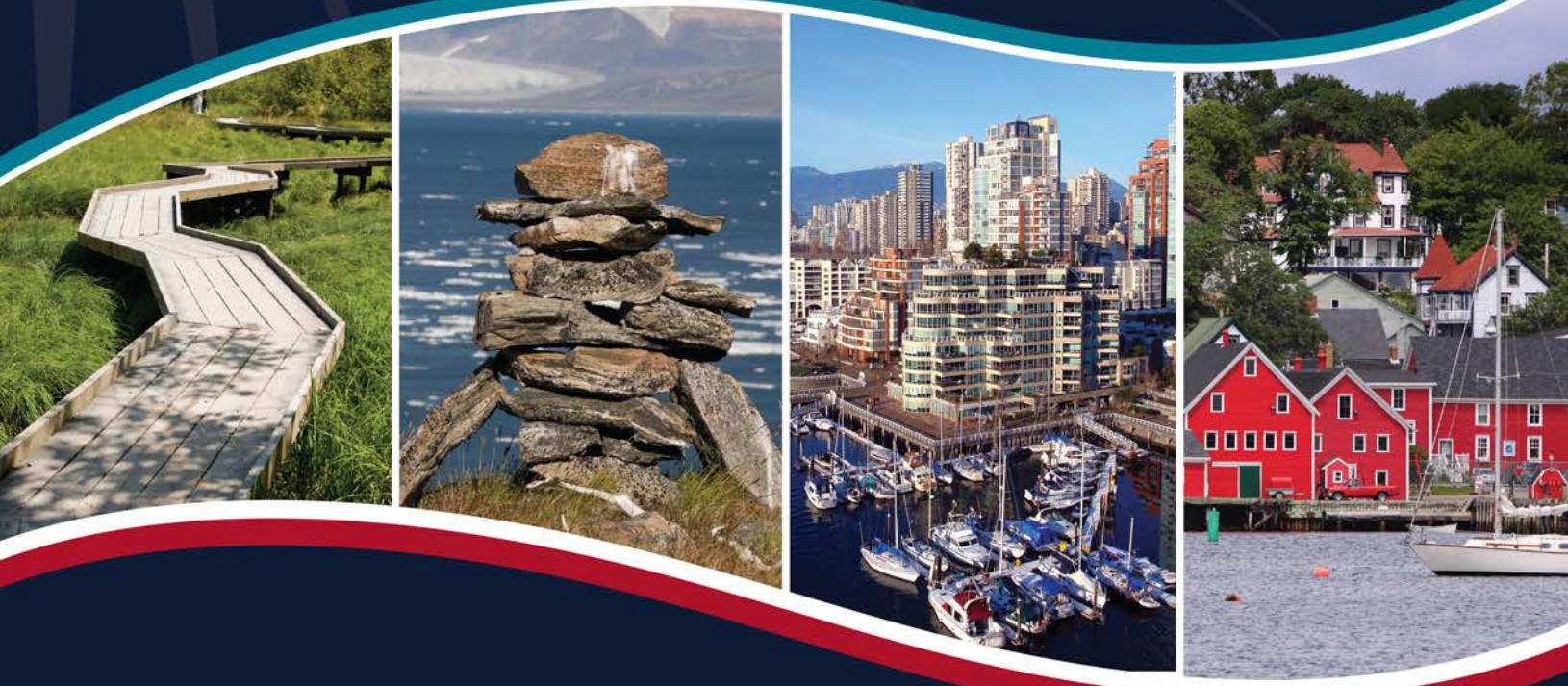




Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

LE LITTORAL MARITIME DU CANADA face à L'ÉVOLUTION DU CLIMAT



Canada



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

LE LITTORAL MARITIME DU CANADA face à L'ÉVOLUTION DU CLIMAT

Canada

Éditeurs:

Donald S. Lemmen
Division des impacts et de l'adaptation liés aux
changements climatiques
Ressources naturelles Canada

Fiona J. Warren
Division des impacts et de l'adaptation liés aux
changements climatiques
Ressources naturelles Canada

Thomas S. James
La commission géologique du Canada
Ressources naturelles Canada

Colleen S.L. Mercer Clarke
École de Gestion Telfer
Université d'Ottawa

Citation recommandée:

Lemmen, D.S., Warren, F.J., James, T.S. et Mercer Clarke, C.S.L. éditeurs (2016). *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2016, 280p.

Cette publication est aussi disponible via le site web suivant:
adaptation.rncan.gc.ca

Also available in English under the title: *Canada's Marine Coasts in a Changing Climate*

Pour obtenir des renseignements sur les droits de reproduction, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à :
nrcan.copyrightdroitdauteur.rncan@canada.ca

No de cat.: M174-12/2016F (Imprimé)
ISBN: 978-0-660-05054-6

No de cat.: M174-12/2016F-PDF (En ligne)
ISBN: 978-0-660-05053-9

Cette évaluation est un produit de la Plateforme d'adaptation du Canada, qui rassemble des représentants du gouvernement, de l'industrie et des organisations professionnelles, afin qu'ils collaborent aux priorités en matière d'adaptation. Veuillez visiter le lien ci-dessous afin d'obtenir plus d'information au sujet de la Plateforme d'adaptation, et afin de télécharger de nouveaux produits, y compris des études de cas, des outils d'adaptation, des documents d'orientation et des rapports : adaptation.nrcan.gc.ca

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leurs conseils, leur soutien et leur contribution tout au long du processus en tant que membres de la Commission d'experts d'évaluation :

John Clague
Réal Daigle
Michael Davies
Don Forbes
Will Green
Patricia Manuel
Ralph Matthews

Colleen Mercer-Clarke
Tina Neale
Jennifer Pouliotte
Paul Lyon
Jean-Pierre Savard
Andy Sherin

Nous remercions aussi les personnes suivantes pour prendre le temps de fournir des critiques, avis d'experts d'un ou plusieurs chapitres du rapport :

David E. Atkinson
Dominique Bérubé
Peter Berry
Doug Biffard
Dr. Richard Boyd
Robert Capozi
James Casey
Norm Catto
Tony Charles
Stewart Cohen
Réal Daigle
Pierre-Marcel Desjardins
Claude Desjarlais
Graham Farstad
Greg Flato
Don Forbes
Patricia Gallaugher
Nathan Gillett

Will Green
Guoqi Han
Debra Harford
Colleen Healey
Philip Hill
Jeff Hoyt
Jeff Hutchings
Kim Hyatt
Tom S. James
Don Jardine
Serge Jolicoeur
Pam Kertland
Mary Knockwood
Tanuja Kulkarni
Daniel Lane
Cathy LeBlanc
Gita Ljubicic
John Loder

Paul Lyon
Patricia Manuel
David Mate
Jim McIsaac
Colleen Mercer-Clarke
Linda Mortsch
Chantal Nixon
Stéphane O'Carroll
Sarah O'Keefe
Jeff Ollerhead
Erica Olson
H. Carolyn Peach Brown
Will Perrie
Steve Plante
Jennifer Pouliotte
John Readshaw
Gregory Richardson
Nicole Rowsell

Ryan Schwartz
Nancy Shackell
Andrew Sherin
Dan Shugar
Brian Sieben
Erin Taylor
Rick Thomson
Martin Tremblay
Nathan Vadeboncoeur
Danika van Proosijj
Ian Walker
Dan Walmsley
Xiaolan Wang
Sang-Seon Yun
Terry Zdan
Xuebin Zhang

Nous tenons également à souligner la contribution des étudiants, qui ont aidé grandement tout au long du processus avec enthousiasme et dévouement :

Stéphanie Elias
Adam Garbo
Ahmed Habre
Pédina Jolicoeur
Nadia Houle-Khedher

Jocelyne Maisonneuve-Alie

TABLE DES MATIÈRES

SYNTHÈSE	1	CHAPITRE 5 : PERSPECTIVES RELATIVES À LA RÉGION DE LA CÔTE NORD DU CANADA	153
Auteurs principaux : Donald S. Lemmen et Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada)		Auteurs principaux : James D. Ford (<i>Université McGill</i>), Trevor Bell (<i>Université Memorial de Terre-Neuve</i>) et Nicole J. Couture (Ressources naturelles Canada)	
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	18	CHAPITRE 6 : PERSPECTIVES RELATIVES À LA RÉGION DE LA CÔTE OUEST DU CANADA	209
Auteurs principaux : Donald S. Lemmen (Ressources naturelles Canada), Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada) et Colleen S.L. Mercer Clarke (Université d'Ottawa)		Auteur principal : Nathan Vadeboncoeur (<i>Université de British Columbia</i>)	
CHAPITRE 2 : UN LITTORAL DYNAMIQUE DANS UN CONTEXTE DE CLIMAT EN MUTATION	28	CHAPITRE 7 : FOIRE AUX QUESTIONS	257
Auteurs principaux : David E. Atkinson (<i>Université de Victoria</i>), Donald L. Forbes (Ressources naturelles Canada) et Thomas S. James (Ressources naturelles Canada)		Rédacteurs : Fiona J. Warren et Donald S. Lemmen (Ressources naturelles Canada)	
CHAPITRE 3 : LE DÉFI CÔTIER	70		
Auteurs principaux : Colleen S.L. Mercer Clarke (<i>Université d'Ottawa</i>), Patricia Manuel (<i>Université Dalhousie</i>) et Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada)			
CHAPITRE 4 : PERSPECTIVES RELATIVES À LA RÉGION DE LA CÔTE EST DU CANADA	100		
Auteurs principaux : Jean-Pierre Savard (<i>Ouranos</i>), Danika van Proosdij (<i>Université Saint Mary's</i>) et Stéphane O'Carroll (<i>Géo Littoral Consultants</i>)			

SYNTHÈSE

Auteurs principaux :

Donald S. Lemmen et Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada)

Notation bibliographique recommandée :

Lemmen, D.S. et F.J. Warren. « Synthèse », 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, 2016, p. 1–16.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	3
INTRODUCTION	3
CONCLUSION	16
RÉFÉRENCES	16
NOTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES DES CHAPITRES	17

SOMMAIRE

Les côtes sont une composante importante de l'identité, de l'économie et de la culture canadiennes. Les côtes du Canada, qui donnent sur trois océans — l'Atlantique, l'Arctique et le Pacifique — et sont les plus longues du monde, sont des régions variées et dynamiques dont la biodiversité, la beauté et les ressources apportent une contribution à l'ensemble du pays. Les impacts des changements climatiques sur les côtes du Canada, qui vont bien au-delà des changements dans le niveau de la mer, présentent à la fois des défis et des possibilités pour les collectivités, les activités économiques et les écosystèmes côtiers. La façon dont nous nous adapterons aux changements à venir sera déterminante en ce qui concerne la durabilité et la prospérité soutenue du Canada et de ses régions côtières. Les points suivants font état des conclusions générales du rapport *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, et sont abordés plus loin dans la présente synthèse :

- L'évolution du climat exerce une influence croissante sur le rythme et la nature des changements le long des côtes très dynamiques du Canada et a des impacts généralisés sur les systèmes naturels et humains.
- Les récents phénomènes météorologiques extrêmes démontrent la vulnérabilité de l'infrastructure côtière.
- Les changements dans l'étendue, l'épaisseur et la durée de la glace de mer, dans le Nord et dans certains secteurs de la région de la côte Est, ont déjà un impact sur les côtes, les écosystèmes, les collectivités côtières et les transports.
- Les changements dans le niveau de la mer varieront considérablement au Canada au cours de ce siècle et par la suite. Là où le niveau relatif de la mer s'élève, la fréquence et l'ampleur des inondations par les ondes de tempête augmenteront.
- On réalise de plus en plus les risques climatiques et la nécessité d'avoir recours à l'adaptation dans les régions côtières, et il y a beaucoup d'exemples de gouvernements locaux et régionaux au Canada qui adoptent des mesures d'adaptation.
- Un éventail de mesures d'adaptation s'imposera dans la plupart des contextes afin de pouvoir composer avec l'ensemble complexe de changements. Les alternatives aux structures rigides de protection des côtes peuvent lutter efficacement contre l'érosion côtière et les inondations dans beaucoup de régions.
- Toute initiative de mise en valeur future exige une bonne compréhension de la nature dynamique des côtes et des risques que présente l'évolution du milieu côtier. La surveillance et l'évaluation de l'efficacité des mesures prises à ce jour de même que les recherches visant à combler les lacunes au niveau des données et des connaissances aideraient à éclairer une planification et un développement durables.

INTRODUCTION

Le Canada est un pays côtier. Toutes les provinces et tous les territoires, à l'exception de l'Alberta et de la Saskatchewan, se partagent les quelque 243 000 km de littoral (Taylor *et al.*, 2014). Les peuples autochtones ont vécu le long des côtes du Canada et utilisé les ressources côtières pendant des milliers d'années, et beaucoup de collectivités des Premières Nations, métisses et inuites conservent des liens très étroits avec la côte. Aujourd'hui, environ 6,5 millions de Canadiens vivent près de nos côtes maritimes et plus de 400 milliards de dollars de biens sont expédiés chaque année grâce aux ports canadiens (Association des administrations portuaires canadiennes, 2013).

Le présent rapport divise le littoral du Canada en trois grandes régions : la côte Est, la côte Nord et la côte Ouest (figure 1). Il importe de reconnaître qu'il existe une énorme variabilité aussi bien à l'intérieur de ces régions qu'entre elles. Par exemple, la région de la côte Nord (qui comprend environ 70 % du littoral du Canada) est très faiblement peuplée; la majorité des résidents sont des Inuits, des Métis ou des membres des Premières Nations, et la glace de mer est un élément caractéristique du littoral pendant une grande partie de l'année. La région de la côte Est est caractérisée par la présence de plusieurs villes et d'une abondance de petits villages et hameaux, de même que par une économie variée dans laquelle les ressources côtières continuent de jouer un rôle important. La population de la région de la côte Ouest est concentrée dans les basses-terres continentales de la Colombie-Britannique et le sud-est de l'île de Vancouver, et le nombre de résidents et la valeur des actifs de l'environnement bâti dans la région métropolitaine de Vancouver dépassent de beaucoup ceux de toute autre partie des côtes maritimes canadiennes.

Les évaluations scientifiques à l'échelle mondiale (p. ex. GIEC, 2007, 2014) et nationale (p. ex. Lemmen *et al.*, 2008; Warren et Lemmen, 2014) soulignent l'importance de comprendre et d'aborder les impacts des changements climatiques dans les régions côtières. À l'échelle mondiale, les inondations côtières pourraient déplacer des centaines de millions de personnes pendant le siècle en cours, et on estime que les coûts des mesures d'adaptation comme la construction de nouvelles digues, l'entretien des digues et le ravitaillement en sable des plages atteindront entre 25 et 270 milliards de dollars américains par an d'ici 2100 (Wong *et al.*, 2014). Au Canada, les changements climatiques (encadré 1) présentent un éventail de risques, et l'augmentation des températures plus élevées, la modification des schémas de précipitation et d'activité orageuse, l'élévation du niveau de la mer et la diminution de la glace de mer sont les principaux changements climatiques abordés dans l'ensemble du présent rapport. L'ampleur, l'importance et parfois la direction de ces changements varient à l'intérieur de chaque région aussi bien qu'entre elles.

Le présent rapport adopte une approche axée sur le paysage pour examiner les côtes maritimes du Canada. Même si on met l'accent sur le rivage à titre d'interface entre la terre et l'eau, le champ d'intérêt s'étend aussi bien vers les terres que vers l'océan dans la mesure où ces secteurs ont une incidence sur la durabilité et le bien-être des collectivités et des écosystèmes côtiers.

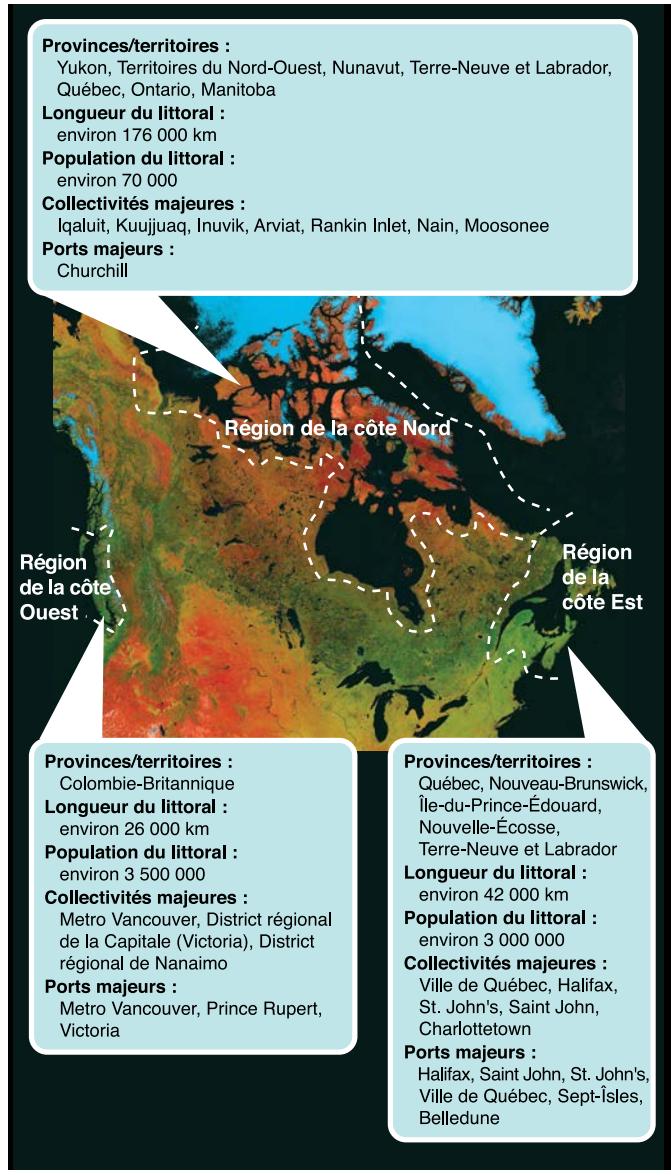


FIGURE 1 : Les trois régions côtières utilisées dans le présent rapport.

Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat complète les évaluations scientifiques antérieures dans cette série : Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007 (Lemmen et al., 2008), qui présente une analyse régionale des impacts et de l'adaptation pour le Canada dans son ensemble, et Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation (Warren et Lemmen, 2014), qui est organisé par thème et par secteur économique. Les lecteurs sont renvoyés à ces évaluations antérieures pour obtenir une description plus complète de certains des concepts présentés dans ce rapport. Cette synthèse s'inspire des renseignements abordés dans chaque chapitre du présent volume, *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, soit un aperçu des aspects géologiques et physiques de la côte (chapitre 2), un chapitre sur la durabilité environnementale et sociale du littoral maritime du Canada (chapitre 3), trois chapitres régionaux examinant les enjeux des régions de la côte Est, de la côte Nord et de la côte Ouest (chapitres 4, 5 et 6 respectivement) ainsi qu'une conclusion qui aborde les questions souvent posées (chapitre 7). Les principales conclusions des chapitres 4 à 6 sont résumées dans l'encadré 2. Le reste de la synthèse est structuré autour de conclusions générales (énumérées dans le « Sommaire ») appuyées par des exemples et des commentaires issus d'une analyse intégrative des chapitres du rapport.

ENCADRÉ 1

QUE SONT LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES?

Le terme « changements climatiques » est employé dans le présent rapport pour désigner tout changement dans le climat au fil du temps, qu'il découle de facteurs naturels, de l'activité humaine ou des deux. Une analyse à l'échelle mondiale démontre que le réchauffement du système climatique de la Terre est sans équivoque, et qu'il est extrêmement probable que l'influence humaine ait été la principale cause du réchauffement noté depuis le milieu du XX^e siècle (GIEC, 2013). Les changements climatiques sont distincts de la variabilité naturelle du climat, qui comprend les phénomènes à court terme comme l'oscillation australe El Niño. Le terme « évolution du climat » est souvent utilisé dans le présent rapport pour souligner que ces changements se poursuivent.

LUTTER CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L'accord de Paris de 2015 en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques a solidifié un engagement mondial à prendre des mesures plus rigoureuses pour lutter contre les changements climatiques. De telles mesures exigent à la fois la réduction des émissions de gaz à effet de serre (atténuation) et l'ajustement aux impacts climatiques inévitables (adaptation). L'adaptation est entreprise afin de réduire les impacts négatifs des changements climatiques et de profiter des possibilités qui peuvent se présenter. Dans les systèmes humains, l'adaptation désigne les changements apportés à nos décisions, nos activités et nos réflexions du fait des changements climatiques observés ou attendus. Le présent rapport met l'accent sur les processus et les mesures liées à l'adaptation planifiée – des décisions délibérées fondées sur une compréhension des changements climatiques en cours et prévus.

ENCADRÉ 2

RÉSUMÉ DES PRINCIPALES CONCLUSIONS DES CHAPITRES RÉGIONAUX

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

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 recullement 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.

CHAPITRE 5 : PERSPECTIVES RELATIVES À LA RÉGION DE LA CÔTE NORD DU CANADA

L'environnement et les caractéristiques socioéconomiques de la côte Nord sont uniques. Principalement habité par des populations autochtones vivant dans de petites collectivités éloignées, le littoral nordique du Canada est vaste, représentant plus de 70 % de tout le littoral canadien. La présence de glace de mer est une caractéristique distinctive de ce littoral et a une incidence sur l'accès au transport, façonne les processus géomorphologiques et offre une plate-forme pour des activités de récolte ayant une valeur culturelle et une importance économique. Les caractéristiques sociales, économiques et démographiques des collectivités du littoral nordique diffèrent considérablement de la moyenne canadienne, la mise en valeur des ressources et l'administration publique étant les piliers des économies nordiques.

La côte Nord est un point névralgique dans le contexte des changements climatiques à l'échelle mondiale. La région a connu l'un des changements climatiques les plus rapides du monde entier, et les changements climatiques futurs prévus pour le littoral nordique continueront d'être importants. Les répercussions sur l'environnement physique comprennent une diminution de la concentration de glace de mer, un dégel hâtif et une prise des glaces tardive, un allongement de la saison d'eau libre exempte de glace, le réchauffement et le dégel du pergélisol, l'érosion côtière, l'élévation du niveau de la mer et des modifications du régime météorologique, y compris les vents et les vagues.

Les collectivités, les écosystèmes et les activités économiques du littoral nordique sont touchés par les impacts des changements climatiques. De nombreuses collectivités sont très sensibles aux impacts des changements climatiques, puisqu'elles sont situées sur des côtes de faible altitude et qu'elles ont des infrastructures bâties sur le pergélisol, des économies étroitement liées aux ressources naturelles et une dépendance à l'égard des activités de récolte terrestres. Les impacts négatifs des changements climatiques dans une variété de secteurs ont été bien documentés dans l'ensemble du littoral nordique. Les nouvelles possibilités associées à une plus longue saison de navigation en eau libre, exempte glace, sont également reconnues, mais une circulation maritime accrue engendre également des risques.

Les changements climatiques agraveront les vulnérabilités existantes. La vulnérabilité varie considérablement en fonction de la région et de la collectivité et, au sein des collectivités, en fonction du lieu géographique, de la nature des impacts des changements climatiques et des facteurs humains. La capacité de gérer les changements climatiques est élevée dans certains secteurs, comme la récolte de subsistance et la santé, mais est minée par des changements sociaux à long terme. Dans d'autres secteurs, comme l'infrastructure, des limites à la capacité de gestion (p. ex. institutionnelle, financière et réglementaire) des risques climatiques engendrent de grandes vulnérabilités persistantes.

Les collectivités et les industries côtières nordiques s'adaptent. Des mesures d'adaptation ont déjà été mises en place dans le Nord, et on a documenté des exemples de planification de l'adaptation à tous les paliers de gouvernement. L'efficacité et l'exhaustivité des réactions existantes n'ont pas été évaluées, même si on a cerné des obstacles à l'adaptation, entre autres les ressources limitées, la capacité institutionnelle et le manque de recherches « utilisables ». Les renseignements accessibles au public sur la manière dont le secteur privé aborde l'adaptation sont limités.

Les mesures d'adaptation supplémentaires possibles sont variées. L'intégration de l'adaptation dans les initiatives et les priorités stratégiques courantes, afin d'aborder les facteurs déterminants socioculturels sous-jacents de la vulnérabilité, peut aider à aborder les risques posés par les changements climatiques au niveau des activités de récolte, de la culture et de la santé. Des mesures d'adaptation visant des risques climatiques particuliers sont également nécessaires, surtout pour gérer les impacts des changements climatiques sur les infrastructures communautaires et industrielles.

CHAPITRE 6 : PERSPECTIVES RELATIVES À LA RÉGION DE LA CÔTE OUEST DU CANADA

L'élévation du niveau de la mer ne touchera pas toutes les régions de la Colombie-Britannique de la même manière, surtout en raison des différences dans le déplacement vertical du terrain. On prévoit que la plus grande élévation du niveau relatif de la mer se produira dans les basses-terres du fleuve Fraser, dans le sud de l'île de Vancouver et le long de la côte nord de la province. Des directives de planification en vue de l'élévation du niveau de la mer préparées par le gouvernement de la Colombie-Britannique prévoient des niveaux de planification légèrement supérieurs aux valeurs culminantes (95^e centile) des prévisions du niveau de la mer en 2050. Cela peut être considéré comme une marge de sécurité qui permet d'entrevoir une élévation supplémentaire possible du niveau de la mer découlant de facteurs auxquels s'attache un grand degré d'incertitude, comme les contributions de l'inlandsis antarctique.

Les inondations causées par les marées de tempête représentent une plus grande menace pour les collectivités côtières que ne le fait la seule élévation du niveau de la mer. Les collectivités côtières composent déjà avec les niveaux d'eau extrêmes associés à la variabilité du climat (p. ex. oscillation australe El Niño/La Niña) et les inondations causées par les marées de tempête. On s'attend à ce que les risques associés à ces événements augmentent à mesure que le niveau de la mer s'élève. Les propriétés et infrastructures résidentielles, commerciales, institutionnelles et municipales de la région sont vulnérables et les collectivités ont commencé à agir en vue de réduire les risques en adoptant de mesures d'adaptation comme la protection des rivages.

Les écosystèmes marins seront touchés à mesure que les espèces migreront vers le nord en réaction au réchauffement de l'eau. Les espèces australes étendront leur aire de répartition vers le nord et la Colombie-Britannique à mesure que les océans se réchaufferont, alors que les espèces qui habitent aujourd'hui la région sud de la côte, dont le saumon, migreront elles aussi vers le nord. Dans la partie sud de la province, le réchauffement de la température à la surface de l'océan réduira l'aire habitable des mollusques et crustacés et la modification de l'acidité de l'océan portera atteinte à leur succès de reproduction. L'adaptation du secteur des pêches commerciales exigera la modification des types d'espèces pêchées et le déménagement des activités. Les Premières nations, qui utilisent beaucoup le saumon à des fins culturelles, ont souvent moins d'options d'adaptation aux changements dans la répartition et l'abondance des espèces de poissons.

La modification des schémas de précipitations aura une incidence sur la disponibilité de l'eau en été et sur le moment de la migration anadrome du saumon dans certains bassins hydrographiques. On s'attend à ce que, de façon générale, les précipitations hivernales augmentent, avec plus de pluie et moins de neige. En outre, la diminution prévue des précipitations pendant l'été, conjuguée à la diminution du manteau neigeux, entraînera une réduction de la quantité d'eau disponible dans certaines régions à la fin de l'été et à l'automne. Le niveau des cours d'eau diminuera pendant cette période et il est probable que la température de l'eau augmentera en conséquence. Une augmentation de la température des cours d'eau modifiera le moment de la migration du saumon car ces poissons n'entrent dans les rivières que lorsque la température de l'eau descend à environ 15 °C.

L'adaptation aux changements climatiques s'accélère en Colombie-Britannique. Les gouvernements sont passés à l'action en matière d'adaptation aux changements climatiques, surtout en ce qui concerne les enjeux liés à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations côtières. Parmi les principaux projets, on compte une évaluation du coût de l'amélioration du système de digues de Metro Vancouver, une étude de risques liés à l'élévation du niveau de la mer dans le District régional de la capitale, les nouvelles mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation de la Ville de Vancouver, lesquelles tiennent compte de l'élévation du niveau de la mer, la disposition de blocs rocheux sous la ligne de marée basse sur la côte de West Vancouver afin d'atténuer les répercussions des marées de tempête ainsi que la rédaction à l'intention des gouvernements locaux d'un guide d'introduction à l'élévation du niveau de la mer.

L'ÉVOLUTION DU CLIMAT EXERCE UNE INFLUENCE CROISSANTE SUR LE RYTHME ET LA NATURE DES CHANGEMENTS LE LONG DES CÔTES TRÈS DYNAMIQUES DU CANADA ET A DES IMPACTS GÉNÉRALISÉS SUR LES SYSTÈMES NATURELS ET HUMAINS.

Les côtes sont des milieux naturellement dynamiques. Même si les changements les plus manifestes sont ceux touchant l'environnement naturel, par exemple ceux qui découlent des phénomènes extrêmes intermittents comme les tempêtes qui érodent les plages et les falaises, de même que les changements à long terme dans le niveau de la mer et les écosystèmes (chapitre 2), les milieux social et économique des côtes canadiennes sont tout aussi dynamiques (chapitre 3). Même si les économies côtières du Canada étaient historiquement fondées sur la pêche, l'agriculture, la foresterie et le transport, nos côtes sont devenues de plus en plus urbanisées et diversifiées sur le plan économique au cours des dernières décennies. La mise en valeur du pétrole et du gaz extracôtiers (chapitres 4 et 5) et le tourisme côtier croissant (chapitres 3, 4, 5 et 6) sont des exemples de moteurs économiques en mutation qui touchent l'économie des collectivités côtières et qui reflètent une transition économique plus générale vers le commerce et l'innovation.

L'évolution du climat est un moteur supplémentaire et de plus en plus important du changement dans les régions côtières. Même si la documentation scientifique est dominée par des études touchant les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. fortes tempêtes) et les changements dans le niveau de la mer, il y a beaucoup d'autres changements liés au climat qui ont une incidence sur les régions côtières, entre autres les changements touchant la température et les schémas de précipitation, les tempêtes, le régime des vagues, la glace de mer, l'hydrologie (y compris la fonte des glaciers) et les propriétés de l'eau océanique (p. ex. température, salinité, acidification, hypoxie; chapitres 2, 4, 5 et 6). Ces changements aggravent les risques existants, posent de nouveaux défis et, dans certains cas, offrent des possibilités. L'importance et la nature des dommages causés ou des avantages dépendent en grande partie du succès remporté par les mesures d'adaptation.

Les impacts sur les écosystèmes terrestres et marins demeurent mal quantifiés (chapitre 7, FAQ 7). Dans certains cas, les écosystèmes peuvent être en mesure de s'adapter naturellement. Dans les marais salés, par exemple, si le taux d'accrétion du marais peut suivre le rythme de l'élévation du niveau de la mer, l'impact sera limité (chapitres 2 et 4). Toutefois, si le taux d'élévation du niveau de la mer dépasse la capacité d'accrétion du marais, ou si la migration vers les terres est entravée par des obstacles naturels ou artificiels, il peut y avoir perte d'habitats et de services précieux assurés par l'écosystème (y compris la protection de la côte; chapitres 3, 4 et 6). Sur la côte du Pacifique (région de la côte Ouest), les espèces de poissons anadromes comme le saumon peuvent être particulièrement touchées par les effets combinés de l'augmentation de la température de l'eau et la diminution du niveau d'eau des rivières, qui agissent toutes deux sur le succès de reproduction et de survie (chapitre 6). Dans toutes les régions, l'acidité croissante de l'océan menace les mollusques et crustacés et d'autres organismes marins et a le potentiel de perturber les chaînes d'alimentation et de nuire aux pêches, y compris les activités d'aquaculture (chapitres 4, 5 et 6).

Certains impacts sur les écosystèmes ont des répercussions directes sur les moyens de subsistance et le bien-être culturel des populations autochtones côtières du Canada (chapitres 4, 5 et 6). Ces impacts comprennent les changements dans la répartition d'espèces destinées à l'alimentation importantes (p. ex. saumon et phoque) de même que la capacité d'accéder à ces ressources. Par exemple, les pêches commerciales des Premières Nations le long de la côte de la Colombie-Britannique ont plutôt recours à des navires beaucoup plus petits que ceux des exploitations commerciales à grande échelle, ce qui limite leur autonomie et la capacité des pêcheurs des Premières Nations de s'adapter aux changements dans la répartition liés au climat (chapitre 6). Dans la région de la côte Nord, les changements touchant la glace de mer peuvent nuire considérablement à la sécurité des déplacements sur la glace et à la capacité d'accéder aux aliments traditionnels (chapitre 5).

Même si pratiquement tous les secteurs économiques des régions côtières du Canada seront touchés directement ou indirectement par l'évolution du climat, les secteurs des pêches, du tourisme, des transports, de l'énergie et de l'infrastructure se distinguent par leur sensibilité particulière au climat (tableau 1; chapitres 3, 4, 5 et 6). Même si les études disponibles tendent à mettre l'accent sur les risques économiques, on reconnaît également les avantages potentiels, comme le prolongement de la saison du tourisme découlant de l'augmentation de la température (chapitres 3 et 4) et les nouvelles possibilités de transport maritime et de mise en valeur des ressources naturelles présentées en raison de la réduction de l'étendue de la glace de mer (chapitre 5). Les risques sont nombreux et généralement associés aux impacts sur les ressources (p. ex. poissons, forêts), sur l'infrastructure et sur les chaînes d'approvisionnement (chapitres 3, 4, 5 et 6). Ces risques varient à l'échelle régionale et locale.

Les changements climatiques, associés à la mondialisation, aux changements démographiques et à de nombreux autres facteurs, garantissent que les côtes canadiennes d'aujourd'hui ne sont pas les côtes canadiennes de demain. Même sans tenir compte des changements climatiques, les côtes sont dynamiques et en constante évolution. On s'attend à ce que le rythme des changements s'accélère à l'avenir. Il est nécessaire de comprendre la nature des changements, d'inclure les interactions entre les divers moteurs du changement et d'en tenir compte dans les décisions de planification si l'on veut assurer le développement de collectivités et d'économies résilientes.

TABLEAU 1 : Exemples d'impacts positifs (+) et négatifs (–) sur les secteurs, associés à l'évolution du climat.

Pêches	Région
Les changements dans la répartition auront des répercussions positives et négatives sur les espèces disponibles pour la pêche et sur le moment de la saison de pêche. (+/–)	Est, Nord et Ouest
Les pêches de mollusques et crustacés ayant une grande valeur commerciale, y compris l'aquaculture, sont vulnérables à l'acidification, à l'augmentation des invasions d'espèces exotiques associée au réchauffement des eaux de même qu'aux fermetures dues à la contamination biologique. (–)	Est et Ouest
Les phénomènes extrêmes, l'élévation du niveau de la mer, les ondes de tempête et l'accélération de l'érosion auront un impact sur l'infrastructure côtière servant aux pêches comme les ports, les quais, les jetées et les usines de transformation du poisson. (–)	Est, Nord et Ouest
Les réductions dans la teneur en oxygène dissous et l'hypoxie qui en découle peuvent entraîner la mort des poissons, la modification du développement physiologique et des schémas de croissance et de migration, la perte d'habitat pour les poissons des grandes profondeurs et d'autres espèces fauniques benthiques, de même que la compression de l'habitat. (–)	Est et Ouest
Les changements climatiques modifient la santé, la disponibilité et le moment de la migration des espèces utilisées pour la pêche de subsistance et la pêche commerciale. (+/–)	Nord, Est et Ouest
Tourisme	Région
Avec la réduction de la glace de mer dans le Nord, il y aura davantage de possibilités de tourisme en navire de croisière. (+) Les préoccupations connexes touchent la sécurité, la pollution et la culture. (–)	Nord
Les températures plus chaudes prolongeront la saison des visites touristiques et des activités de loisirs estivales (+) mais pourraient nuire aux possibilités de loisirs par temps froid. (–)	Est, Ouest et Nord
L'infrastructure touristique (p. ex. quais et propriétés côtières) et les ressources culturelles (p. ex. Haida Gwaii et la Forteresse de Louisbourg) sont menacées par l'élévation du niveau de la mer et par le climat plus violent. (–)	Est, Ouest et Nord
La augmentation de la prolifération des algues et la diminution de la qualité de l'eau associées aux eaux plus chaudes peuvent rendre les plages moins attrayantes. (–)	Est
Infrastructure	Région
L'infrastructure existante peut devenir moins utilisable avec l'élévation du niveau moyen de la mer, ce qui peut engendrer des marées et des ondes de tempête plus élevées, ou une érosion accélérée en raison de l'action accrue des vagues, ou des effets thermiques sur les côtes de pergélisol. (–)	Nord, Est et Ouest
Le potentiel de dommages plus élevé en Colombie-Britannique découlera de l'effet de l'élévation du niveau de la mer sur l'augmentation de l'impact des niveaux d'eau élevés et des vagues pendant les tempêtes. (–)	Ouest
Les inondations découlant de la superposition de l'effet des ondes de tempête, des fortes précipitations et des tempêtes à celui de l'élévation du niveau de la mer entraîneront des dommages coûteux aux infrastructures. (–)	Est, Ouest et certaines parties du Nord
Transports	Région
La réduction de la glace de mer et l'augmentation de la profondeur de l'eau dans de nombreux ports présentent des possibilités éventuelles de transport maritime, même si les risques posés par les glaces demeurent importants. (+/–)	Nord et Est
L'inondation des routes par les ondes de tempête et les vagues de tempête peuvent isoler les collectivités côtières. (–)	Est et Ouest
Le risque d'inondation des aéroports de faible élévation peut augmenter suite à l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête. (–)	Ouest
Les services de traversier peuvent être perturbés par des retards et des annulations attribuables aux conditions météorologiques extrêmes de même qu'aux dommages provoqués par les tempêtes (aux quais ou aux routes d'accès aux gares maritimes). (–)	Ouest et Est
Les hivers plus chauds entraînent une augmentation des épisodes de brouillard, ce qui a des conséquences pour les aéroports côtiers. (–)	Nord et Est
Les risques au niveau de la sécurité des déplacements sur la glace de mer augmenteront. (–)	Nord
Énergie	Région
La réduction de la glace de mer et le prolongement de la saison de navigation entraînent une augmentation des possibilités d'exploration et de mise en valeur pétrolières et gazières. (+)	Nord
L'élévation du niveau de la mer et les tempêtes pourraient porter atteinte aux terminaux d'exportation côtiers existants et proposés et engendrer des conditions dangereuses pour le transport maritime. (–)	Est et Ouest
Les tempêtes de verglas et les vents violents augmentent le risque de dommages à l'infrastructure de transport de l'énergie. (–)	Nord, Est et Ouest
Les changements dans les régimes d'écoulement fluvial auraient une incidence sur la production d'hydroélectricité. (+/–)	Nord, Est et Ouest

LES RÉCENTS PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES DÉMONTRENT LA VULNÉRABILITÉ DE L'INFRASTRUCTURE CÔTIÈRE.

Même si les changements climatiques sont un processus graduel, plusieurs des plus importants impacts de changements climatiques seront liés aux dommages causés par les phénomènes extrêmes. Bien qu'il soit difficile d'attribuer des phénomènes météorologiques extrêmes particuliers aux changements climatiques (chapitre 7, FAQ 4), il est manifeste que les changements climatiques ont une incidence sur la probabilité de certains extrêmes climatiques (chapitre 2; GIEC, 2013). Les impacts associés aux phénomènes extrêmes récents (tableau 2) soulignent les vulnérabilités des collectivités et des infrastructures côtières. Les impacts associés aux tempêtes sont les préoccupations les plus courantes, mais d'autres types d'événements extrêmes sont importants dans certaines régions. Par exemple, la sécheresse est une préoccupation sur la côte sud de la Colombie-Britannique et a d'importantes répercussions au niveau de l'infrastructure de l'eau (chapitre 6).

Les climatologies différentes des trois régions côtières du Canada se reflètent dans la nature différente des tempêtes. Les tempêtes les plus violentes de la région de la côte Est sont habituellement des cyclones tropicaux, comme Juan en septembre 2003 et Igor en septembre 2010, ou des tempêtes du nord-est, comme le « Juan blanc » de février 2004 et la tempête de janvier 2000 (chapitres 2, 3 et 4). Dans la région de la côte Ouest, des pluies extrêmes sont associées aux « rivières atmosphériques » (couramment appelées « Pineapple Express »), un phénomène par lequel un courant concentré d'air très humide provenant des tropiques est transporté vers la côte (chapitres 2 et 6). Ces événements provoquent souvent de graves inondations, des glissements de terrain et une augmentation de la charge de sédiments dans les réservoirs d'eau potable (chapitre 6). Les tempêtes violentes sont plus rares dans l'Arctique, en particulier dans les régions occidentales et nordiques. Les ondes de tempête représentent un grand danger dans certaines régions, notamment sur la côte de la mer de Beaufort (région de la côte Nord) et sur les côtes du golfe du Saint-Laurent et de l'Atlantique (région de la côte Est). Des ondes de tempête d'une hauteur maximale dépassant 1 m se produisent dans les trois régions côtières (chapitre 2).

TABLEAU 2 : Exemples de phénomènes extrêmes coûteux dans les régions côtières du Canada, décrits dans la Base de données canadienne sur les catastrophes (Sécurité publique Canada, 2014). Le coût total estimé est tiré de la base de données source et ne se limite pas aux coûts le long de la côte. Les valeurs comprennent le montant versé par les compagnies d'assurance et le montant, en dollars, versé par une province ou un territoire en raison d'un événement particulier. Les estimations qui comprennent les pertes non assurées et les autres coûts peuvent être plusieurs fois plus élevées que les valeurs indiquées ici (p. ex. aux chapitres 3 et 4).

Région	Lieu	Événement/Date	Description / Impacts
Est	Terre-Neuve-et- Labrador	Ouragan (ouragan Igor) 21 septembre 2010	<ul style="list-style-type: none">vitesse du vent dépassant 170 km/h dans certaines régionsenviron 90 collectivités ont été isolées en raison de l'emportement par les eaux ou de la fermeture de certaines routes, et 22 collectivités ont déclaré un état d'urgence300 évacuationsun décèscoût total estimé : 51 000 000 \$
Est	Halifax (N.-É.) et Charlottetown (Î.-P.-É.)	Ouragan (ouragan Juan) 29 septembre 2003	<ul style="list-style-type: none">une onde de tempête de 1,63 m s'est produite au moment où l'ouragan Juan touchait terre juste au sud d'Halifaxles niveaux d'eau ont atteint 2,9 m au-dessus du zéro des cartes, le niveau d'eau le plus élevé jamais enregistré à cet endroitlourds dommages aux bâtiments, aux quais, aux promenades et aux sentiers dans la région d'Halifax (en particulier sur le front de mer du centre-ville)huit décèscoût total estimé : 30 900 000 \$
Ouest	Vallée du Fraser et Metro Vancouver (C.-B.)	Tempêtes et orages violents 6 au 8 janvier 2009	<ul style="list-style-type: none">violente tempête de pluie du 6 au 8 janviera provoqué des inondations, des coulées de boue et des glissements de terrain jusqu'au 31 janviercoût total estimé : 16 500 000 \$
Est	Nouveau- Brunswick	Tempête tropicale (tempête post- tropicale Arthur) 5 juillet 2014	<ul style="list-style-type: none">fortes pluies et rafales de vent allant jusqu'à 100 km/hfermeture généralisée des routesplus de 140 000 clients ont été touchés par des pannes d'électricitécoût total estimé : 12 500 000 \$
Est	Nouvelle- Écosse	Tempête hivernale (« Juan blanc ») 18 au 20 février 2004	<ul style="list-style-type: none">chute de neige recordétat d'urgence de quatre jourscouvre-feu à 21h en vigueur pendant trois nuitsdes milliers de personnes sans électricitécoût total estimé : 5 600 000 \$
Nord	Pangnirtung (NU)	Inondation 8 et 9 juin 2008	<ul style="list-style-type: none">l'inondation a endommagé deux ponts et a coupé certains résidents des services essentielscoût total estimé : 4 900 000 \$

Les tempêtes peuvent provoquer des inondations sur les côtes et à l'intérieur des terres, une érosion des côtes et des dommages par le vent, qui tous ont une incidence sur les collectivités, les infrastructures et les écosystèmes côtiers. Dans les cas extrêmes, une seule tempête peut entraîner l'érosion de plusieurs mètres de rivage (chapitres 4 et 5). Les inondations à l'intérieur des terres associées à la tempête post-tropicale Igor ont emporté des routes et des ponts sur une grande étendue de Terre-Neuve, isolant plus de 150 villes (chapitre 3). Un exemple d'impact sur les écosystèmes d'un phénomène extrême est celui de l'onde de tempête de 1999 dans le delta du Mackenzie, qui a fait remonter de l'eau de mer de la côte jusqu'à une distance de 30 km à l'intérieur des terres et a entraîné le dépérissement de 30 000 hectares de toundra arbustive et de terres humides peuplées de carex (chapitre 5). Les tempêtes qui provoquent des dommages importants et très coûteux sont plus fréquentes dans la région de la côte Est que le long des autres côtes du Canada, tel qu'en témoigne la Base de données canadienne sur les catastrophes (Sécurité publique Canada, 2014; tableau 2).

LES CHANGEMENTS DANS L'ÉTENDUE, L'ÉPAISSEUR ET LA DURÉE DE LA GLACE DE MER, DANS LE NORD ET DANS CERTAINS SECTEURS DE LA RÉGION DE LA CÔTE EST, ONT DÉJÀ UN IMPACT SUR LES CÔTES, LES ÉCOSYSTÈMES, LES COLLECTIVITÉS CÔTIÈRES ET LES TRANSPORTS.

La glace de mer est une caractéristique dominante des côtes nordiques du Canada et une caractéristique saisonnière dans certaines parties de la région de la côte Est. Pour l'Arctique en général, l'étendue de la glace de mer en septembre (étendue minimale) a diminué d'environ 13 % par décennie depuis les années 1980 (Perovich et al., 2014). Dans l'Arctique canadien, la diminution varie de 10,4 % par décennie dans la baie d'Hudson à 2,9 % par décennie dans l'archipel Arctique (chapitre 5). Dans les secteurs de la région de la côte Est qui connaissent la glace de mer, le taux de diminution de l'étendue annuelle moyenne de la glace de mer est de 2,7 % par décennie depuis 1969 (chapitre 4).

Dans les deux régions, les températures moyennes plus chaudes ont retardé la date de l'engelacement et devancé la date du dégellement, et elles ont entraîné une diminution de l'épaisseur de la glace. En certains endroits de la région de la côte Nord, la saison exempte de glace s'est prolongée de plus de 30 jours au cours des trois dernières décennies (chapitre 5). On prévoit que ces tendances se maintiendront ou accéléreront à l'avenir, certains modèles prévoyant une perte complète de couverture de glace estivale dans l'Arctique avant le milieu du siècle (chapitre 5). Dans la région de la côte Est, les prévisions indiquent que le golfe du Saint-Laurent sera exempt de glace hivernale d'ici la fin du présent siècle (chapitre 4).

Les changements dans la couverture de glace de mer touchent les processus et les moyens de subsistance côtiers (figure 2). La glace de mer atténue l'action des vagues, réduit l'impact des tempêtes violentes et limitent par conséquent le taux d'érosion côtière.

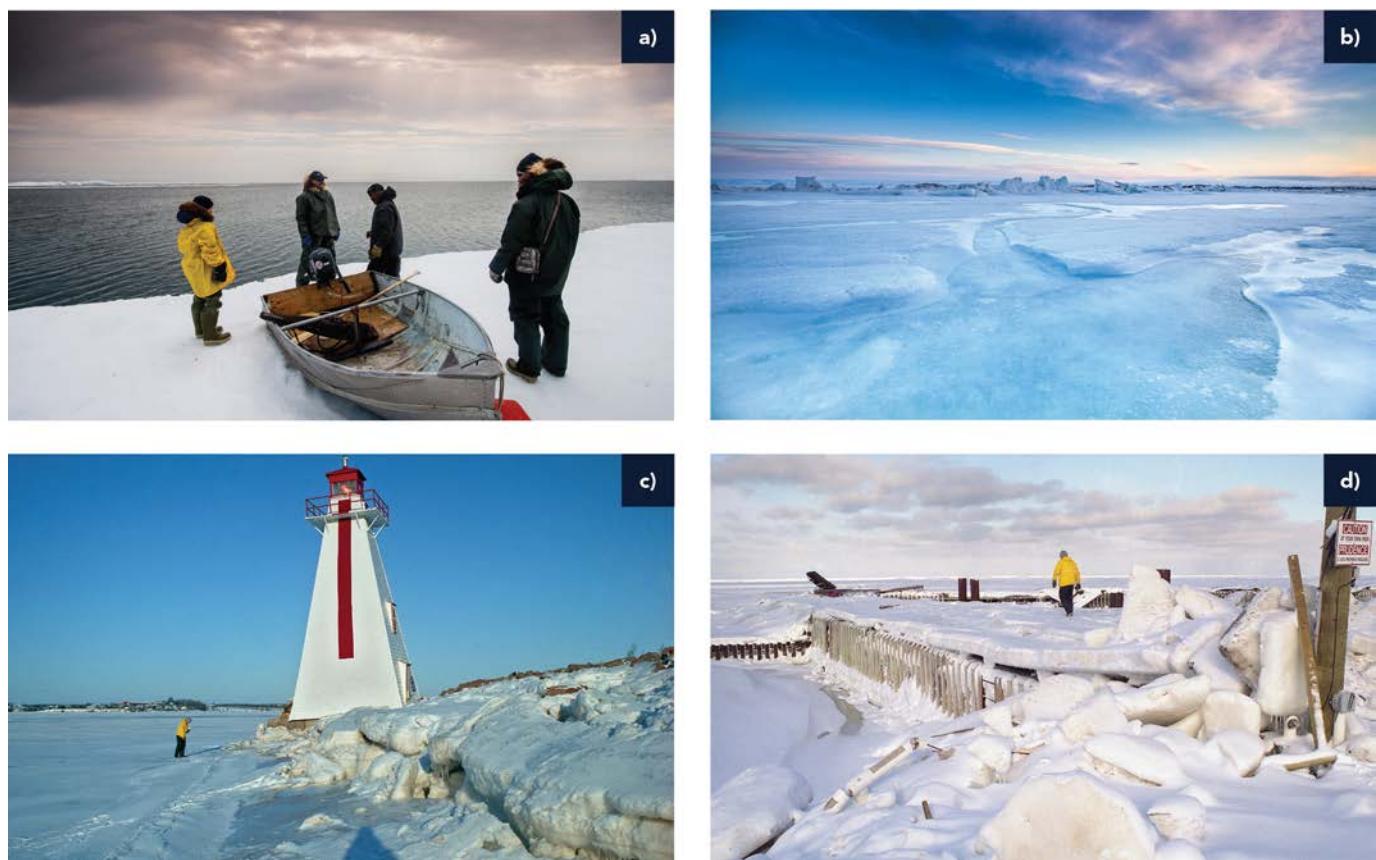


FIGURE 2 : La glace de mer est une caractéristique déterminante de la région de la côte Nord du Canada **a)** et **b)**, et présente une importance saisonnière dans de grandes parties de la région de la côte Est **c)** et **d)**, affectant à la fois les processus côtiers et les moyens de subsistance. Photo gracieuseté de a) D.G. Clark, b) © Curtis Jones; c) et d) D. Forbes.

Toutefois, la glace de mer peut aussi avoir une incidence négative sur la stabilité de la côte et l'infrastructure côtière. Par exemple, lors d'une grosse tempête en janvier 2000 dans le Canada atlantique, de la glace de mer mobile du golfe du Saint-Laurent a été projetée sur la grève – un événement de « poussée des glaces » – et a endommagé les bâtiments riverains et l'infrastructure du port, y compris un phare dans le port de Charlottetown qui a été arraché de ses fondations (chapitre 2). À mesure que l'étendue et la durée saisonnière de la glace de mer diminue, les fetch saisonniers augmentent, ce qui se traduit par des vagues plus grosses et une plus grande quantité d'énergie des vagues qui atteint la côte et engendre une augmentation de l'érosion et du risque d'inondation (chapitres 2, 4 et 5). Dans la région de la côte Nord, la plus grande augmentation du fetch se produit en automne, qui est aussi souvent la période la plus orageuse de l'année (chapitres 2 et 5).

Le régime des glaces en mutation a une incidence directe sur les moyens de subsistance des peuples autochtones de la région de la côte Nord. Les conditions météorologiques et la condition de la glace moins prévisibles rendent les déplacements sur la surface de la glace de mer plus dangereux, ce qui compromet les activités de récolte traditionnelles et touche par conséquent la santé et le bien-être. Par exemple, au cours de l'hiver particulièrement chaud de 2009–2010, la moitié des résidents de Nain (T.-N.-L.) sondés a mentionné ne pas pouvoir utiliser les itinéraires de déplacement habituels, et les trois quarts des résidents sondés ont indiqué être incapables de prévoir la condition de la glace et avoir peur de se déplacer sur la glace (chapitre 5).

LES CHANGEMENTS DANS LE NIVEAU DE LA MER VARIERONT CONSIDÉRABLEMENT AU CANADA AU COURS DE CE SIÈCLE ET PAR LA SUITE. LÀ OÙ LE NIVEAU RELATIF DE LA MER S'ÉLÈVE, LA FRÉQUENCE ET L'AMPLEUR DES INONDATIONS PAR LES ONDES DE TEMPÈTE AUGMENTERONT.

Au cours du présent siècle, il est probable que le niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale s'élève de 28 à 98 cm, et des augmentations de plus d'un mètre sont possibles (Church et al., 2013). Le changement réel du niveau de la mer constaté à un endroit donné différera de la moyenne mondiale en raison d'un certain nombre de facteurs, le déplacement vertical des terres provoqué par l'ajustement isostatique glaciaire étant un facteur particulièrement important au Canada (chapitre 2). Parce que le déplacement vertical des terres varie considérablement d'un endroit à l'autre au Canada, les prévisions du changement du niveau relatif de la mer d'ici 2100 varient d'une élévation de près de 100 cm dans certaines parties des régions de la côte Est et de la côte Ouest, à une chute de près de 100 cm dans certaines parties du centre de la région de la côte Nord (figure 3).

Dans les secteurs où le niveau de la mer s'élève, soit dans la majeure partie des régions de la côte Est et de la côte Ouest et sur la côte de la mer de Beaufort dans la région de la côte Nord, l'influence de cette élévation sur le changement côtier augmentera continuellement tout au long du siècle. L'élévation du niveau de la mer menacera la viabilité de certaines collectivités occupant des sites de faible élévation (p. ex. Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest) et augmentera le risque d'inondation d'autres collectivités. Par exemple, en supposant une élévation du niveau de la mer de 40 cm à Halifax d'ici 2050, les niveaux d'eau extrêmes qui ont actuellement un intervalle de récurrence de 50 ans se reproduiront sur une période beaucoup plus courte de moins de 2 ans (figure 4; chapitre 2). La stabilité côtière peut être plus grande dans les secteurs de la région de la côte Nord où le niveau de la mer diminue; toutefois, ces côtes continueront de subir d'autres impacts des changements climatiques, comme les changements dans la couverture de glace de mer et les augmentations connexes de l'énergie des vagues (chapitre 2).

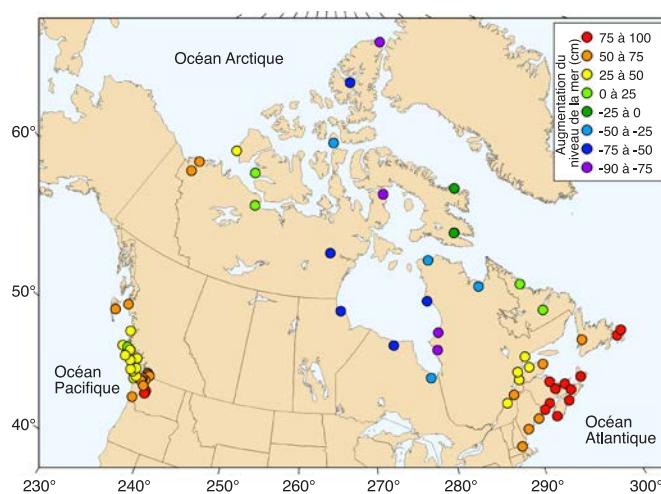


FIGURE 3 : Changement prévu du niveau relatif de la mer (en cm) en 2100 pour la médiane d'un scénario à émissions élevées (RCP8.5) dans des endroits côtiers du Canada et du nord des États-Unis. Voir le chapitre 2 pour obtenir de plus amples renseignements sur la méthodologie et les scénarios de changements climatiques utilisés dans le présent rapport. Des graphiques montrant le changement prévu du niveau de la mer au cours du présent siècle pour chacun des lieux canadiens indiqués sur cette figure se trouvent dans le chapitre régional pertinent (chapitre 4, 5 ou 6).

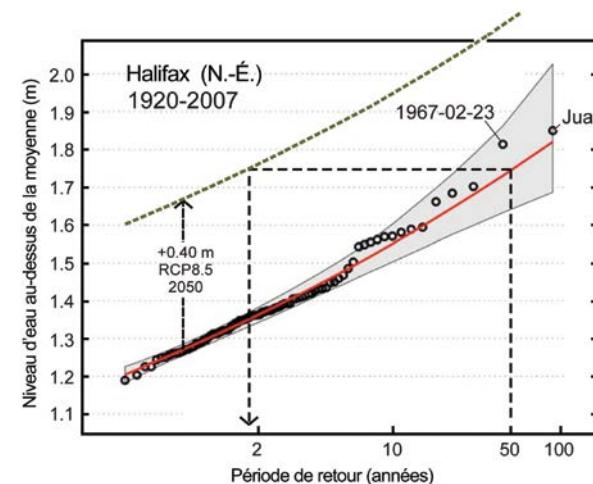


FIGURE 4 : Les niveaux d'eau horaires maximum annuels (en mètres au-dessus de la moyenne) au port d'Halifax, en Nouvelle-Écosse, entre 1920 et 2007 et les périodes de récurrence afférentes en années. La ligne rouge présente la meilleure correspondance avec les observations et indique l'intervalle de récurrence moyen actuel pour tout niveau d'eau maximal donné de même que le changement dans la période de récurrence qui découle d'une élévation du niveau moyen de la mer en fonction d'un scénario à émissions élevées d'ici 2050 (extrait tiré modifié de Forbes et al., 2009; chapitre 2).

Même si aucune valeur individuelle de changement du niveau de la mer n'est significative aux fins de planification pour l'ensemble du Canada, les schémas régionaux et sous-régionaux marqués qui apparaissent clairement à la figure 3 permettent d'élaborer des lignes directrices pratiques à cette échelle. Les lignes directrices relatives aux digues à la mer et à l'utilisation des terres sujettes au danger d'inondation côtière en fonction de l'adaptation aux changements climatiques (*Climate Change Adaptation Guidelines for Sea Dikes and Coastal Flood Hazard Land Use*) de la Colombie-Britannique sont un exemple de ce type de directive (chapitre 6).

ON RÉALISE DE PLUS EN PLUS LES RISQUES CLIMATIQUES ET LA NÉCESSITÉ D'AVOIR RECOURS À L'ADAPTATION DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES, ET IL Y A BEAUCOUP D'EXEMPLES DE GOUVERNEMENTS LOCAUX ET RÉGIONAUX AU CANADA QUI ADOPTENT DES MESURES D'ADAPTATION.

Le nombre d'études sur les impacts, la vulnérabilité et les options d'adaptation en matière de changements climatiques sur les côtes au Canada a augmenté rapidement au cours de la dernière décennie. La majorité de ces recherches mettent l'accent sur les collectivités. La participation directe des intervenants à beaucoup de ces études a contribué à mieux faire connaître les dangers climatiques côtiers et la nécessité d'avoir recours à l'adaptation dans chacune des régions côtières (chapitres 4, 5 et 6). En conséquence, on comprend de mieux en mieux qu'une planification efficace peut aider à réduire les coûts des impacts climatiques à l'avenir de même qu'à augmenter le nombre d'options disponibles (chapitre 7, FAQ 11), et de nombreuses régions et collectivités ont élaboré des plans, des politiques et des stratégies d'adaptation (tableau 3).

L'adaptation est une responsabilité partagée par tous les ordres de gouvernement, le secteur privé, la société civile et les particuliers (chapitre 7, FAQ 10). Toutes les provinces et tous les territoires des régions côtières du Canada disposent de stratégies ou de plans d'adaptation particuliers qui comprennent des références aux enjeux côtiers. Par exemple, les gouvernements du Nunavut, des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon disposent d'un partenariat et d'une stratégie panterritoriale pour l'adaptation qui soulignent l'importance de la planification tenant compte de l'érosion côtière et offre un mécanisme d'échange de connaissances et d'élaboration d'activités coopératives dans une grande partie de la région de la côte Nord (chapitre 5). Plusieurs provinces ont mis au point des politiques, des directives et des outils afin d'éclairer la planification et les pratiques en matière d'adaptation côtière. L'un des premiers exemples canadiens de planification en vue de changements touchant le milieu côtier est la politique de protection des zones côtières du Nouveau-Brunswick (*New Brunswick Coastal Areas Protection Policy*), qui a été élaborée en 2002 afin d'aider à protéger la sécurité publique, l'infrastructure, les terres agricoles et la biodiversité de la faune et de la flore dans la région (chapitre 4). Comme il peut être difficile de mettre en œuvre de telles stratégies, l'inclusion de mesures provisoires sujettes à examen et ajustement peut s'avérer utile, comme on l'a fait pour une grande partie de la Côte Nord du Québec, où la construction dans les zones côtières à risque est interdite (chapitre 4). En Colombie-Britannique, le gouvernement a préparé un guide d'introduction à l'élévation du niveau de la mer et des lignes directrices à ce sujet qui ont eu une incidence sur la gestion côtière à l'échelle communautaire, y compris à Vancouver (chapitre 6). Un aspect important des lignes directrices de la Colombie-Britannique est qu'elles contiennent une disposition leur permettant d'être ajustée à l'avenir en fonction des nouveaux résultats scientifiques sur les prévisions touchant le niveau mondial de la mer.

Au niveau communautaire, il existe de nombreux exemples différents de planification continue de l'adaptation dans les trois régions côtières (chapitres 4, 5 et 6), auxquels participent souvent d'autres ordres de gouvernement et des partenaires non gouvernementaux. Dans la région de la côte Nord, par exemple, on a mis l'accent sur l'adaptation des lignes directrices en matière de conception et de construction pour mieux lutter contre la dégradation du pergélisol (chapitre 5). Dans les régions de la côte Est et de la côte Ouest, on accorde plus d'attention au zonage restrictif, y compris à l'utilisation de marges de recul horizontales et verticales, en vue de réduire la vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations côtières dans des collectivités de toute taille. Cela comprend par exemple la Ville de Vancouver, qui est devenue en 2013 la première ville de Colombie-Britannique à adopter la prise en considération officielle d'une élévation du niveau de la mer d'un mètre dans les exigences en matière de planification et de mise en valeur, conformément aux lignes directrices provinciales (chapitre 6), et la Ville de Beaubassin-Est, au Nouveau-Brunswick (6 200 habitants), qui a adopté en 2011 un règlement municipal exigeant 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 (chapitre 4). Ces efforts visant à faire progresser l'adaptation sont déployés après une décennie ou plus d'expansion rapide des développements résidentiels et autres développements linéaires le long de nombreuses côtes, expansion qui a accru à la fois l'exposition et la vulnérabilité aux dangers côtiers (chapitres 3 et 4).

Le niveau de la mer change continuellement le long de la plupart des côtes canadiennes depuis des milliers d'années. Ces changements sont principalement liés au fait qu'au cours de la dernière glaciation de l'Amérique du Nord, la masse des inlandsis (qui pouvaient atteindre environ 4 km d'épaisseur) a exercé une pression sur la croûte terrestre sur laquelle elle reposait et a déplacé la matière visqueuse du manteau (qui se trouve entre le noyau de la Terre et sa croûte). La fonte des inlandsis il y a entre 21 000 et 8 000 ans a permis au manteau de se rétablir lentement et à la croûte terrestre de reprendre lentement sa place. Ces changements dans l'élévation de la croûte terrestre, qui se poursuivent, sont désignés par le terme « ajustement isostatique glaciaire » (chapitre 2). Ils ont entraîné un soulèvement de la croûte terrestre dans les secteurs près du centre des anciens inlandsis – le long de la baie d'Hudson, par exemple, où le niveau de la mer a chuté de plus de 200 m au cours des 8 000 dernières années et où la terre se soulève actuellement au rythme de 10 mm/an ou plus. Par contre, les endroits à proximité ou au-delà de la marge des anciens inlandsis ont connu une élévation du niveau de la mer pendant la même période et, de nos jours, s'enfoncent lentement – Halifax, par exemple, s'enfonce au rythme d'environ 1 mm/an.

TABLEAU 3 : Exemples de politiques, de stratégies, de plans et de programmes d'adaptation régionaux et communautaires.

Région de la côte Est	Point de mire
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 pour aider les Canadiennes et Canadiens de la côte atlantique à s'adapter aux changements climatiques.	Outils d'information et de soutien décisionnel pour tous les risques climatiques
La municipalité des Îles-de-la-Madeleine a dressé un plan directeur dans lequel elle cerne 23 secteurs où l'érosion pose problème et où une intervention est jugée nécessaire.	Érosion côtière
Le règlement administratif sur la stratégie de planification municipale et d'utilisation des terres (<i>Municipal Planning Strategy and Land Use By-Law</i>) pour le front de mer du centre-ville d'Halifax stipule une élévation minimale pour le rez-de-chaussée de tout développement.	Élévation du niveau de la mer et inondations
La politique de protection des zones côtières (<i>Coastal Areas Protection Policy</i>) du Nouveau-Brunswick cerne les caractéristiques côtières vulnérables, ce qui leur permet de continuer de fonctionner naturellement et d'entretenir leur capacité d'absorption, et définit une zone tampon à activité et développement limités.	Protection du littoral
Ouranos, une initiative conjointe du gouvernement du Québec, d'Hydro-Québec et d'Environnement Canada, est un consortium axé sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques.	Outils de recherche et de soutien décisionnel pour tous les risques climatiques
Région de la côte Nord	Point de mire
La stratégie panterritoriale pour l'adaptation (<i>Pan-Territorial Adaptation Strategy</i>) des gouvernements du Nunavut, des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon est un mécanisme permettant aux gouvernements de travailler ensemble sur le dossier des changements climatiques en mettant l'accent sur les mesures d'adaptation pratiques.	Renforcement de la capacité et amélioration des mesures
Le partenariat sur les changements climatiques du Nunavut (<i>Nunavut Climate Change Partnership</i>) a mis à l'essai l'élaboration de plans de mesures d'adaptation dans sept collectivités (Clyde River, Hall Beach, Iqaluit, Arviat, Whale Cove, Cambridge Bay et Kugluktuk).	Pergélisol, changement du niveau de la mer, érosion côtière, eau douce
Plusieurs collectivités côtières du Nunavik ont participé à un projet de surveillance et de cartographie du pergélisol afin d'éclairer la planification future de la mise en valeur et de l'utilisation des terres.	Dégénération du pergélisol
L'Initiative des collectivités durables <i>SakKijânginnatuk Nunalik : The Sustainable Communities Initiative</i> du Nunatsiavut aborde les enjeux qui sont essentiels pour le bien-être et la durabilité des collectivités dans le contexte d'un climat en mutation.	Éclairer les pratiques exemplaires
Région de la côte Ouest	Point de mire
Les lignes directrices provinciales de la Colombie-Britannique en matière de mise en valeur dans les zones à risque d'inondation soulignent l'importance de construire au-dessus des niveaux d'inondation en raison du risque accru posé par l'élévation du niveau de la mer.	Élévation du niveau de la mer
Le programme d'action climatique du District régional de la capitale (<i>Capital Regional District Climate Action Program</i>) travaille avec les secteurs public, privé et sans but lucratif à réduire la vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer.	Élévation du niveau de la mer
La Ville de Vancouver est en train de mettre en œuvre son plan d'adaptation (qui a été lancé en 2007 par l'adoption d'une motion municipale), qui comprend l'adoption de la prise en considération officielle d'une élévation du niveau de la mer d'un mètre dans les exigences en matière de développement et de planification.	Élévation du niveau de la mer
Le Conseil de bande de Hartley Bay et la Première Nation Semiahmoo ont réalisé des évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques de même que des plans d'adaptation en adoptant une approche holistique qui tient compte des changements aussi bien dans le milieu biophysique que le milieu socioculturel.	Déplacement des espèces et élévation du niveau de la mer
La Ville de Qualicum Beach en est maintenant à l'étape de la planification d'un plan maître complet pour le front de mer qui comprendra la planification de l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer.	Élévation du niveau de la mer

UN ÉVENTAIL DE MESURES D'ADAPTATION S'IMPOSERA DANS LA PLUPART DES CONTEXTES. LES ALTERNATIVES AUX STRUCTURES RIGIDES DE PROTECTION DES CÔTES PEUVENT LUTTER EFFICACEMENT CONTRE L'ÉROSION CÔTIÈRE ET LES INONDATIONS DANS BEAUCOUP DE RÉGIONS.

Au Canada et ailleurs, on a eu tendance à favoriser les mesures de protection structurelles, comme les ouvrages longitudinaux, les cordons d'enrochement et les digues, pour composer avec les enjeux de l'élévation du niveau de la mer, de l'érosion côtière et des inondations (chapitres 3, 4 et 6). Même si les mesures de protection structurelles peuvent être l'option la plus viable dans certains secteurs, les alternatives comme les mesures de protection non structurelles, l'accommodement et le retrait ou l'évitement (figure 5) peuvent être plus efficaces, moins coûteuses et plus appropriées dans de nombreuses situations (chapitre 3; chapitre 7, FAQ 11). Les mesures de protection structurelles, si elles ne sont pas convenablement conçues, disposées et entretenues, peuvent entraîner une mauvaise adaptation en engendrant une augmentation des impacts dans les zones adjacentes et en contribuant à la perte de services écosystémiques essentiels. Pour ces raisons, l'emploi de mesures de protection structurelles est contrôlé dans certains secteurs (chapitre 4).

Les mesures de protection non structurelles comprennent le maintien ou la restauration des plages, des marais et de la végétation côtière, mesures qui peuvent toutes atténuer les effets dommageables des marées, des courants, des vagues et des tempêtes (chapitre 3). Il en existe de nombreux exemples dans la région de la côte Ouest, dont plusieurs sont affiliés au programme « Green Shores » (rivages verts; chapitre 6). Les exemples de la région de la côte Est comprennent la restauration des marais salés et l'utilisation de sable de dragage propre pour ravitailler les plages protectrices (chapitre 4). Même s'il a été démontré que les mesures de protection non structurelles sont rentables et bénéfiques sur le plan environnemental, le fait que ces mesures sont en grande partie invisibles, et donc mal comprises par le grand public, peut constituer un obstacle à leur utilisation (chapitre 4).

Les mesures d'accommodement sont conçues en vue d'atténuer les risques associés à divers dangers naturels. Elles permettent à des impacts occasionnels à court terme (p. ex. les impacts des tempêtes ou des inondations saisonnières) de se produire pendant que les gens continuent d'occuper ou d'utiliser la région côtière. Elles consistent par exemple à surélever les bâtiments et à garantir des liens de transport de remplacement. Le retrait peut être accompagné de coûts économiques et sociaux considérables et est généralement l'une des dernières options envisagées. Toutefois, il peut s'avérer prudent d'effectuer un retrait bien géré, qui exige l'abandon planifié et le déménagement progressif des actifs en fonction de la compréhension des changements futurs pouvant s'opérer au niveau des risques climatiques. L'évitement par la planification proactive peut être le moyen le plus efficace de réduire les risques. Les plans touchant les ports et les fronts de mer de Gibsons en Colombie-Britannique, de Charlottetown à l'Île-du-Prince-Édouard et d'Halifax en Nouvelle-Écosse contiennent tous des dispositions concernant les nouveaux développements qui tiennent compte de l'élévation du niveau de la mer et de l'augmentation du nombre d'inondations causées par les ondes de tempête, y compris l'évitement des secteurs de faible élévation (chapitre 3).

La plupart des plans d'adaptation qui abordent l'élévation du niveau de la mer de même que les inondations et l'érosion côtières comprendront des éléments issus de toutes ces approches (chapitre 3). Par exemple, même si l'érosion côtière représente un risque majeur pour les îles de la Madeleine, au Québec, on a pris la décision de laisser 95 % des îles sans protection contre les processus naturels afin de préserver la beauté naturelle de l'archipel, qui est l'un des principaux attraits pour les touristes. Cela exigera un retrait planifié et le déménagement de certaines structures. Des mesures de protection structurelles et non structurelles seront employées dans le but de protéger quelques centres-villes et quelques infrastructures essentielles (chapitre 4).

TOUTE INITIATIVE DE MISE EN VALEUR FUTURE EXIGE UNE BONNE COMPRÉHENSION DE LA NATURE DYNAMIQUE DES CÔTES ET DES RISQUES QUE PRÉSENTE L'ÉVOLUTION DU MILIEUCÔTIER. LA SURVEILLANCE ET L'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DES MESURES PRISES À CE JOUR, DE MÊME QUE LES RECHERCHES VISANT À COMBLER LES LACUNES AU NIVEAU DES DONNÉES ET DES CONNAISSANCES AIDERAIENT À ÉCLAIRER UNE PLANIFICATION ET UN DÉVELOPPEMENT DURABLES.

En plus de la mise en œuvre de mesures d'adaptation ayant pour objet d'atténuer les risques actuels dans les régions côtières, l'amélioration de la résilience des côtes exige l'intégration de l'évolution du climat dans la planification de toute mise en valeur future. Les activités dans les régions côtières ont été et demeureront des moteurs économiques majeurs pour l'ensemble du Canada. Il y a des propositions de développement d'infrastructures majeures dans les trois régions côtières du Canada (chapitres 4, 5 et 6), dont plusieurs

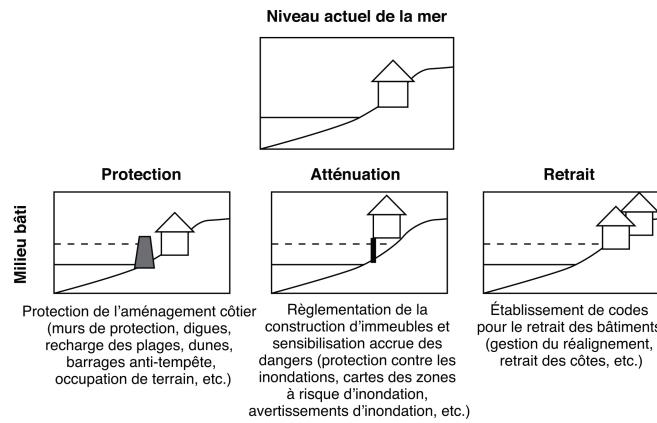


FIGURE 5 : Représentation schématique des options de mesures de protection, d'accommodement et de retrait en matière d'adaptation côtière (extrait modifié tiré de Linham et Nichols, 2010, selon GIEC, 1990).

sont liées à l'amélioration de l'accès aux marchés étrangers. En outre, la demande de développement résidentiel près du littoral demeure élevée dans beaucoup de secteurs (chapitres 4 et 6). Les populations en croissance rapide de la plupart des collectivités côtières nordiques (chapitre 5) accroissent également la demande au niveau du développement résidentiel et d'autres infrastructures, y compris des systèmes de drainage des eaux pluviales capables de traiter le ruissellement causé par les phénomènes de pluies extrêmes (chapitre 4). De nombreux instruments stratégiques peuvent servir à faciliter la mise en œuvre des plans, y compris les règlements, les règlements administratifs, le zonage et les marges de recul protectrices, ainsi que les codes du bâtiment.

La planification en vue de l'élévation du niveau de la mer doit tenir compte de la variabilité pancanadienne, de la période d'intérêt et de l'importance des niveaux d'eau extrêmes. Pour les horizons de planification de moins d'environ 35 ans, l'importance du changement du niveau de la mer à un endroit donné est le même dans tous les scénarios de changements climatiques, ce qui réduit l'incertitude. Dans la seconde moitié du siècle, le choix des scénarios devient plus important et doit donc être effectué avec une compréhension de la tolérance au risque (chapitre 3). Les prévisions des niveaux d'eau extrêmes futurs, dont l'importance se fait particulièrement sentir au niveau de la planification des infrastructures futures, doivent tenir compte non seulement des changements dans le niveau de la mer et des tempêtes, mais également de la variabilité océanographique naturelle (p. ex. l'oscillation australe El Niño dans la région de la côte Ouest, qui peut faire monter le niveau de la mer local de dizaines de centimètres) et d'autres facteurs comme la formation et la remontée des vagues. Par exemple, une violente tempête en janvier 2000 a produit des vagues extrêmes qui ont causé de grands dommages jusqu'à 18 m au-dessus du niveau moyen de la mer dans le sud-ouest de Terre-Neuve (chapitre 2). Une analyse intégrative constante aide à cartographier la sensibilité des côtes au changement dans le niveau de la mer et à d'autres changements liés au climat (encadré 3) et pourrait être complétée par des analyses supplémentaires afin de saisir de manière plus complète la dimension humaine de la vulnérabilité côtière.

Un besoin majeur, au Canada comme ailleurs, est d'améliorer les efforts de surveillance et d'évaluation des mesures d'adaptation qui ont été prises afin de promouvoir un apprentissage partagé et de cerner les pratiques exemplaires. Même si tous les chapitres régionaux du présent rapport contiennent des exemples de mesures d'adaptation prises à l'échelle locale et régionale, aucune de ces mesures n'a été évaluée en profondeur quant à son efficacité en ce qui a trait à la réduction des risques climatiques. Des recherches supplémentaires et une meilleure collaboration en matière de collecte et d'échange de données pourraient aider à combler les lacunes existantes au niveau de la compréhension de la vulnérabilité au climat de certains endroits, y compris au niveau local (chapitres 4, 5 et 6). Ces recherches pourraient étayer l'analyse de rentabilisation de l'adaptation en offrant des analyses quantitatives des coûts et des avantages associés à l'adoption de mesures d'adaptation (chapitre 7, FAQ 11).

ENCADRÉ 3

CANCOAST : UN OUTIL D'ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ CÔTIÈRE

En s'appuyant sur une cartographie de la sensibilité des côtes l'élévation du niveau de la mer (Shaw *et al.*, 1998), des travaux en cours ont permis de créer une base de données complète dans le but de cartographier la sensibilité aux inondations et à l'érosion découlant des changements liés au climat dans le niveau de la mer, la glace de mer et l'activité orageuse tout le long du littoral maritime du Canada (figure 6). La base de données CanCoast contient des données altimétriques numériques, des prévisions du changement dans le niveau de la mer pour 2050, les conditions de glace terrestre pour les secteurs de pergélisol côtier de même que des renseignements sur les matériaux de surface, le relief, l'amplitude des marées, la hauteur des vagues et les tendances récentes en matière de concentration de la glace de mer. La cartographie des dangers et l'évaluation des impacts, la planification de l'adaptation et l'analyse des lacunes au niveau des données et des connaissances ne sont que quelques unes des applications potentielles de CanCoast.

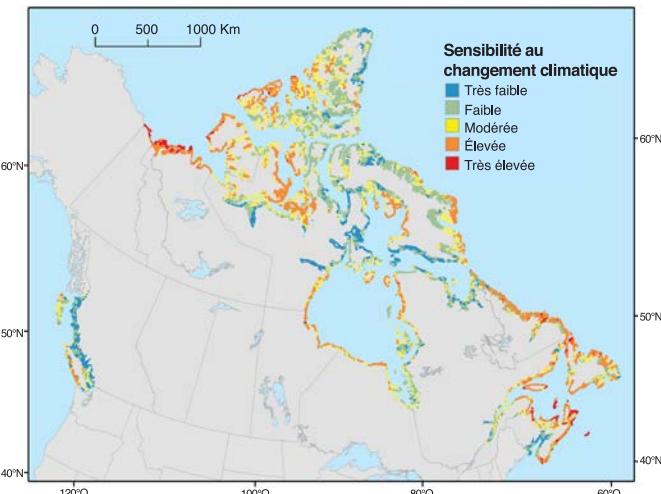


FIGURE 6 : Carte préliminaire de la sensibilité des côtes canadiennes aux changements climatiques, conçue à l'aide de la base de données CanCoast (chapitre 2). Il est à remarquer que certaines zones très sensibles (p. ex. delta du fleuve Fraser) ne sont pas clairement visibles en raison de la faible résolution de la carte.

CONCLUSION

Toutes les régions côtières du Canada sont touchées par l'évolution du climat, et ces impacts continueront de croître. Les risques et les possibilités qui en découlent varient à l'intérieur des régions et entre elles, reflétant à la fois les différences dans les systèmes humains et naturels et dans la sensibilité au climat. Les principaux impacts liés au climat soulignés dans le présent rapport comprennent les changements touchant le niveau de la mer, l'étendue de la glace de mer, les inondations côtières et les services écosystémiques. À titre de nation très développée, le Canada possède la capacité nécessaire pour s'adapter à ces impacts, mais assurer une adaptation efficace et proactive exige une planification qui tient compte de la nature changeante des risques climatiques. Le manque de connaissances propres à un site donné et de capacité d'intervention peuvent constituer des obstacles à l'adaptation à l'échelle locale. La meilleure façon d'éliminer ces obstacles peut dépendre d'une plus grande collaboration entre les ordres de gouvernement et avec les universités et les autres acteurs non gouvernementaux. La collaboration et l'innovation s'imposent si l'on veut réaliser la vision d'un littoral canadien durable et résilient.

RÉFÉRENCES

- Association des administrations portuaires canadiennes (2013) : Industry information – Canadian port industry; Association des administrations portuaires canadiennes, <<http://www.acpa-ports.net/industry/industry.html>>.
- 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 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, p. 1137–1216, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf>.
- 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; Commission géologique du Canada, Dossier public 6346, 22 p., <http://ftp2.cits.nrcan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/248/248196/of_6346.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2007) : Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability (contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 976 p., <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013) : Résumé à l'intention des décideurs; dans *Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques* (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, p. 3–29, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014) : Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects (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, 1132 p., <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf>.
- 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, Ontario, 448 p., <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/full_complet_f.pdf>.
- Linham, M.M. et Nicholls, R.J. (2010) : Technologies for climate change adaptation – coastal erosion and flooding; Programme des Nations unies pour l'Environnement (PNUE), TNA Guidebook Series, 150 p., <http://www.unep.org/pdf/TNAhandbook_CoastalErosionFlooding.pdf>.
- Perovich, D., Meier, W., Tschudi, M., Gerland, S. et Richter-Menge, J. (2014) : Sea ice; dans Arctic Report Card 2014, M.O. Jeffries, J. Richter-Menge et J.E. Overland (éd.); National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, District of Columbia, p. 32–38, <http://www.arctic.noaa.gov/report14/ArcticReportCard_full_report.pdf>.
- Sécurité publique Canada (2015) : Base de données canadienne sur les catastrophes; Sécurité publique Canada, <<http://www.securitepublique.gc.ca/cnt/srscs/cndr-dstr-dtbs/index-fra.aspx>>.
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.-H. et Solomon, S. (1998) : Sensitivity of the coasts of Canada to sea level rise; Commission géologique du Canada, Bulletin 505, 79 p., <<http://open.canada.ca/data/en/dataset/b321c920-4f4e-50c5-bfea-103b961b6ebc>>.
- Taylor, R.B., Forbes, D.L., Fobel, D., Manson, G.K. et Shaw, J. (2014) : Coastal geoscience studies at the Bedford Institute of Oceanography, 1962–2012; dans *Voyage of Discovery: Fifty Years of Marine Research at Canada's Bedford Institute of Oceanography*, D.N. Nettleship, D.C. Gordon, C.F.M. Lewis et M.P. Latremouille (éd.); Bedford Institute of Oceanography–Oceans Association, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, p. 197–204.
- Warren, F.J. et Lemmen, D.S., éditeurs (2014) : Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des acteurs relatives aux impacts et à l'adaptation; Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 286 p., <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport_complet_Fra.pdf>.
- Wong, P.P., Losada, I.J., Gattuso, J.-P., Hinkel, J., Khattabi, A., McInnes, K.L., Saito, Y. et Sallenger, A. (2014) : Coastal systems and low-lying areas; chapitre 5 dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects* (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. 361–409, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap5_FINAL.pdf>.

NOTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES DES CHAPITRES

CHAPITRE 1

Lemmen, D.S., F.J. Warren et C.S.L. Mercer Clarke. « Introduction », 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, 2016, p. 17–26.

CHAPITRE 2

Atkinson, D.E., D.L. Forbes et T.S. James. « Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation », 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, 2016, p. 27–68.

CHAPITRE 3

Mercer Clarke, C.S.L., P. Manuel et F.J. Warren. « Le défi côtier », 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, 2016, p. 69–98.

CHAPITRE 4

Savard, J.-P., D. van Proosdij et S. O'Carroll. « 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, 2016, p. 99–152.

CHAPITRE 5

Ford, J.D., T. Bell et N.J. Couture. « Perspectives relatives à la région de la côte Nord 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, 2016, p. 153–208.

CHAPITRE 6

Vadeboncoeur, N. « Perspectives relatives à la région de la côte Ouest 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, 2016, p. 209–256.

CHAPITRE 7

Warren, F.J., éditeur. « Foire aux questions », 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, 2016, p. 257–280.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Auteurs principaux :

Donald S. Lemmen (Ressources naturelles Canada), Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada) et Colleen S.L. Mercer Clarke (Université d'Ottawa)

Notation bibliographique recommandée :

Lemmen, D.S., F.J. Warren et C.S.L. Mercer Clarke. « Introduction », dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, (éd.), D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2016, p.17–26.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	20
1 LES CÔTES DU CANADA	20
2 ÉVOLUTION DU CLIMAT	22
3 ADAPTATION – SE PRÉPARER AU CHANGEMENT	23
4 PORTÉE ET FORMAT DU RAPPORT	25
5 RÉFÉRENCES	27

PRÉFACE

Le climat change – on a observé une augmentation de la température de l'air et des océans, une modification des schémas de précipitations, la fonte des glaciers, le déclin de la glace marine, l'élévation du niveau de la mer et des changements dans les phénomènes extrêmes aussi bien au Canada (Bush *et al.*, 2014) qu'ailleurs dans le monde (GIEC, 2013c). Les modèles climatiques prévoient que plusieurs des tendances observées se poursuivront au cours des décennies à venir et au-delà, malgré les efforts d'atténuation acharnés déployés au niveau mondial (p. ex. GIEC, 2013c). La réduction des émissions de gaz à effet de serre s'impose en vue d'atténuer l'ampleur et la rapidité des changements climatiques, mais ne peut pas empêcher l'apparition de répercussions supplémentaires en raison de l'inertie du système climatique. Les impacts des changements climatiques continueront de présenter des risques et des possibilités (Lemmen *et al.*, 2008; Warren et Lemmen, 2014), et les Canadiens devront s'y adapter, et donc modifier leur façon d'agir et de prendre des décisions dans le but de réduire les risques et les préjudices ou de profiter des nouvelles possibilités qui se présenteront.

Même si toutes les régions du pays seront touchées par les changements climatiques, les régions côtières du Canada subissent des pressions uniques. Les modifications du niveau de la mer, les inondations côtières et fluviales, la température plus élevée des océans et la réduction des glaces marines provoquent un éventail d'impacts importants et souvent cumulatifs. En outre, les pressions dues aux changements climatiques s'ajoutent aux défis existants auxquels sont confrontées beaucoup de collectivités côtières, entre autres une démographie vieillissante, des économies changeantes et parfois des priorités contradictoires concernant l'utilisation et la mise en valeur des terres. Vivre près de la côte exige également d'en reconnaître la nature dynamique et de s'adapter à un milieu en constante évolution. Il est important de comprendre les risques et les possibilités que les changements climatiques présentent pour les régions côtières dans ce contexte afin de s'y adapter de manière efficace.

1 LES CÔTES DU CANADA

Le littoral canadien, le plus long du monde, est un élément déterminant de notre identité nationale.

(Mercer Clarke *et al.*, le présent document, chapitre 3)

Le littoral canadien donne sur trois océans (Atlantique, Arctique et Pacifique) et comprend des baies et des golfs importants (p. ex. la baie d'Hudson et le golfe du Saint-Laurent). Mesurant plus de 243 000 km, le littoral canadien est le plus long littoral du monde.¹ Il s'étend du 43^o au 83^o degré de latitude Nord et comprend des paysages aussi disparates que les forêts pluviales côtières et la toundra (figure 1), et l'amplitude de ses marées varie de négligeable aux plus hautes marées du monde. Les côtes du Canada



FIGURE 1 : Photos démontrant la diversité du littoral maritime du Canada. La région de la côte Est : a) et b); la région de la côte Nord : c) et d); et la région de la côte Ouest : e) et f). Photos gracieuseté de a) J.-P. Savard, b) D. van Proosdij, c) N. Couture, d) D. Evans, e) A. Blais Stevens et f) D. Lemmen.

sont bordées de nombreux détroits, golfs et baies, comme la mer des Salish dans le sud-ouest de la côte du Pacifique et la baie de Fundy et la mer du Labrador sur les côtes de l'Atlantique. La grande quantité d'îles du nord, collectivement désignées sous le nom d'archipel Arctique canadien, est séparée de la côte du continent par de nombreux grands plans d'eau et de nombreux chenaux et détroits entre les îles, y compris le passage du Nord-Ouest.

Les côtes sont importantes pour tous les Canadiens du fait de leurs ressources naturelles, de leur beauté, de leur biodiversité et de leurs autres contributions à la société et à la culture. Les côtes ont joué et continueront de jouer un rôle important en servant de soutien aux économies nationales, régionales et locales et en rendant possible la circulation des importations et exportations dans le but de répondre aux besoins des gens du pays et du monde entier. En 2011, les ports maritimes canadiens ont expédié des marchandises valant plus de 400 milliards de dollars (Association des administrations portuaires canadienne, 2013). Étant donné les économies diversifiées associées à la plupart des villes modernes, il importe peu que les côtes du Canada soient de plus en plus urbanisées, car les ressources naturelles (y compris les pêches et la foresterie) continuent de jouer un rôle important dans de nombreuses régions et sont particulièrement sensibles aux changements climatiques. Le tourisme et le transport sont d'autres

1 Les valeurs publiées pour la longueur des côtes varient considérablement selon l'échelle spatiale à laquelle les mesures ont été prises. La longueur des côtes est un exemple classique de forme fractale (Mandelbrot, 1967) et, par conséquent, toutes les valeurs constituent des estimations. Les valeurs indiquées dans le présent chapitre sont tirées de l'Atlas du Canada (1972).

secteurs de l'économie côtière qui sont très sensibles à la variabilité et à la modification du climat. Les régions côtières du Canada offrent également des services écosystémiques qui appuient le bien-être de la société et des personnes (voir le chapitre 3) et qui sont particulièrement importants pour de nombreux peuples autochtones.

Le présent rapport se penche sur les répercussions des changements climatiques dans les trois régions du littoral maritime

du Canada : la côte Est, la côte Nord et la côte Ouest (encadré 1 ; figure 2). Les frontières ont été choisies de manière à faciliter le plus possible la discussion des enjeux liés aux changements climatiques auxquels est confrontée chaque région, plutôt qu'en fonction des seules limites géographiques ou politiques. Même si on reconnaît l'importance des rives fluviales intérieures comme les rives des Grands Lacs, celles-ci n'entrent pas dans la portée de la présente évaluation.

ENCADRÉ 1 RÉGIONS CÔTIÈRES DU CANADA

La **région de la côte Est** comprend les côtes complètes du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse, de l'Île-du-Prince-Édouard et de l'île de Terre-Neuve, la portion sud de la côte du Labrador, jusqu'au bras Hamilton au nord, de même que la côte du Québec qui borde l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, jusqu'à Québec en amont. La longueur totale de ce littoral est d'environ 42 000 km, avec une population côtière de quelque 3 millions d'habitants. Les secteurs économiques importants sont les pêches, l'aquaculture, le transport, le tourisme et la fabrication.

La **région de la côte Nord** englobe les côtes des trois territoires nordiques ainsi que du Labrador (au nord du bras Hamilton), du Manitoba, de l'Ontario et du Québec le long de la baie et du détroit d'Hudson. Cette région dont le littoral s'étend sur 176 000 km, ce qui représente plus de 70 % du littoral maritime du Canada, ne compte qu'une population dispersée de quelque 70 000 personnes. Vingt-quatre des vingt-cinq communautés du Nunavut sont situées sur la côte, et les centres comme Inuvik, dans les Territoires du Nord-Ouest, Iqaluit, au Nunavut, et Kuujjuaq, au Québec, offrent d'importants services régionaux, y compris l'importation et l'exportation de marchandises. L'influence de la glace marine et du pergélisol se fait fortement sentir sur les côtes et les moyens de subsistance dans le Nord.

La **région de la côte Ouest** comprend 26 000 km de littoral, s'étendant tous dans la province de la Colombie-Britannique. La population côtière de la Colombie-Britannique est d'environ 3,5 millions de personnes et est principalement concentrée dans les basses terres continentales (région du Grand Vancouver) et le sud-ouest de l'île de Vancouver. Lors d'une analyse des actifs actuellement (2005) exposés aux phénomènes climatiques extrêmes, Vancouver s'est classée au 15^e rang des villes portuaires les plus vulnérables du monde, avec plus de 55 milliards de dollars d'actifs exposés (Nicholls *et al.*, 2008), dépassant de loin toutes les autres villes du Canada, bien que l'économie provinciale soit diversifiée, les économies de nombreuses petites collectivités côtières demeurent étroitement liées aux pêches, à la foresterie et aux activités touristiques.



FIGURE 2 : Littoral maritime du Canada, délimitant grossièrement les trois régions abordées dans le présent rapport.

DÉFINIR LES CÔTES – UNE APPROCHE AXÉE SUR LE PAYSAGE

Utilisée principalement dans les domaines de la gestion des pêches et du droit maritime international, la notion de « côte » est souvent définie comme étant une zone ou un secteur suivant un rivage, à thème surtout maritime, dont la frontière terrestre est déterminée par la plus grande intrusion prévue de l'eau de mer dans les terres où est établie à une distance définie du rivage, et dont la frontière maritime est fixée aux limites des eaux territoriales nationales (c.-à-d. 12 milles marins [NM] vers le large à partir du rivage). Des approches plus intégrées (à l'échelle du paysage) de la gestion des côtes adoptent une vue plus générale des côtes qui tient compte des liens entre les écosystèmes terrestres, aquatiques et marins, transcendent les limites de compétence et de discipline et améliorent la compréhension (et la gestion) des interactions entre les humains et l'environnement et des changements côtiers à long terme (figure 3; UNEP-GPA, 1995; GESAMP, 2001; Mercer Clarke, 2010).

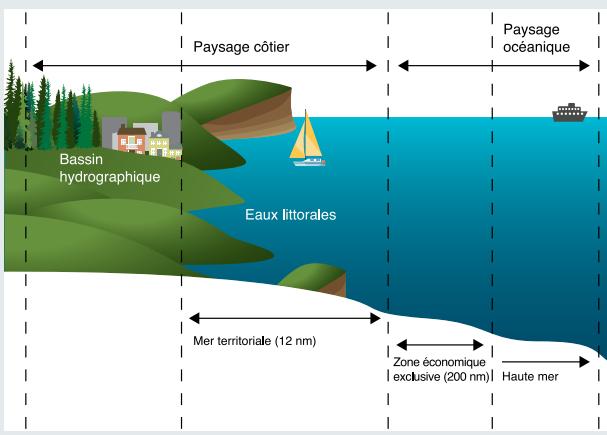


FIGURE 3 : Le paysage côtier (tiré de Mercer Clarke, 2010).
Abréviation : NM, mille marin (22,2 km).

Travailler à l'échelle du paysage offre la possibilité de collaborer à l'élaboration de nouveaux points de vue et de planifier et gérer efficacement les milieux côtiers (Bekkby et al., 2002; Stewart et Neily, 2008). Cela élimine en outre la nécessité de frontières côtières définies. La présente évaluation reconnaît l'importance de cette perspective plus large dans l'élaboration de stratégies et de mesures visant à lutter contre les changements climatiques. Même si le thème central du rapport demeure le littoral, à titre d'interface entre la terre et l'eau, la portée du rapport s'étend vers l'intérieur des terres et vers le large dans la mesure où ce territoire a une incidence sur la durabilité et le bien-être des collectivités et des écosystèmes côtiers.

2 ÉVOLUTION DU CLIMAT

Le réchauffement du système climatique est indéniable et, depuis 1950, un grand nombre des changements observés sont sans précédent depuis des décennies et des millénaires [traduction]. (GIEC, 2013c)

Les évaluations scientifiques nationales et internationales ont conclu catégoriquement que le climat subit un changement (p. ex. GIEC, 2013c; Melillo et al., 2014; Warren et Lemmen, 2014; voir le chapitre 2). Les côtes du Canada connaissent déjà une accélération des changements liés, en partie, aux variations du climat et/ou aux changements s'opérant au niveau des phénomènes météorologiques violents (Lane et al., 2013). L'élévation du niveau de la mer et de la température de l'eau et de l'air, l'intensité croissante des orages et la réduction de la glace marine ne sont que quelques exemples des modifications environnementales auxquelles sont confrontées les régions côtières (voir le chapitre 2). Ces changements toucheront les régions et les collectivités de différentes manières, en fonction de la physiographie du littoral, de l'exposition au vent et aux vagues, de la présence de protections naturelles et artificielles (p. ex. plages, dunes, marais, ouvrages de protection longitudinaux, digues et brise-lames), de la proximité de l'environnement bâti à des conditions dangereuses de même que du niveau de préparation locale aux urgences (p. ex. Boateng, 2008; Simpson et al., 2012).

Même si le rythme, la portée et la nature des impacts varient selon le lieu, certains enjeux communs ont été cernés, soit les effets sur les écosystèmes côtiers (p. ex. terres humides et écosystèmes aquatiques), sur l'infrastructure (p. ex. transport, approvisionnement en eau et évacuation des eaux usées, et bâtiments) et sur les secteurs économiques (p. ex. pêches, ressources naturelles et tourisme). Même si l'on met souvent l'accent sur les risques associés aux changements climatiques, il y aura également des possibilités à exploiter. Le tableau 1 donne des exemples de possibilités et de risques liés au climat dans les secteurs d'importance pour les côtes canadiennes, tels que définis lors d'évaluations antérieures à l'échelle nationale réalisées au Canada.

Les coûts économiques associés à l'évolution du climat sur le littoral maritime du Canada sont relativement peu connus. À partir d'une analyse à l'échelle nationale, on a estimé que les coûts liés aux inondations des habitations côtiers (qui ne représente qu'un parmi tant d'autres impacts préoccupants des changements climatiques) pourraient s'élever à entre 4 et 17 milliards de dollars par année d'ici le milieu du siècle (Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, 2011). L'importance des impacts économiques varie en fonction de la région. Par exemple, les auteurs de l'étude de la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie ont fait remarquer qu'en termes de pourcentage de la superficie totale de terrain, les régions côtières de l'Île-du-Prince-Édouard sont les plus menacées, alors que le plus grand nombre d'habitations touchées seront situées en Colombie-Britannique et que les coûts par habitant liés aux habitations endommagées seront les plus élevés au Nunavut.

TABLEAU 1 : Exemples d'impacts liés aux changements climatiques (par secteur) dans les régions côtières du Canada (d'après les chapitres pertinents de Lemmen et al. [2008] consacrés aux régions et les chapitres de Warren et Lemmen [2014] consacrés aux secteurs).

Secteur	Possibilités et risques liés au climat
Infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> Risques associés à l'érosion des côtes, aux inondations causées par les ondes de tempête et d'élévation du niveau de la mer de même qu'au vent Défaillance des digues et autres structures de protection, augmentation des coûts de construction et d'entretien
Transport	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation des coûts d'entretien des ports ainsi que des routes et chemins de fer côtiers, perturbations et retards dans la circulation Augmentation de la circulation maritime dans le Nord découlant de la diminution de la glace marine
Pêches	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la température et de l'acidité de l'eau qui aura une incidence sur la répartition des espèces et la santé des écosystèmes, y compris sur la reproduction et la répartition des poissons Augmentation des répercussions attribuables aux espèces envahissantes Augmentation potentielle de la biomasse de production totale issue des pêches sauvages de capture
Tourisme	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la durée de la saison des loisirs de temps chaud Diminution de la durée de la saison des loisirs de temps froid Risques pour l'infrastructure et la sécurité associés aux phénomènes climatiques extrêmes
Énergie	<ul style="list-style-type: none"> Changements saisonniers dans la demande énergétique : augmentation de la climatisation en été, diminution du chauffage en hiver Risques pour l'infrastructure de transmission de l'énergie associés aux phénomènes météorologiques extrêmes Risques pour les installations de production extracôtier liés à l'augmentation de l'activité orageuse et aux changements au niveau des risques posés par la glace
Foresterie	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation des perturbations forestières liées aux ravageurs, aux maladies et aux incendies Changements dans la composition des forêts et augmentation possible de la productivité
Exploitation minière	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation des risques pour l'infrastructure de transport Changements dans les conditions de glace marine susceptibles d'améliorer l'accès maritime aux sites miniers du Nord
Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la durée de la saison de croissance Salinisation de l'eau souterraine découlant de l'élévation du niveau de la mer et du pompage Changements touchant les ravageurs agricoles

3 ADAPTATION – SE PRÉPARER AU CHANGEMENT

Une planification par les collectivités côtières qui tient compte des impacts du changement climatique réduit les risques que ces impacts entraînent des préjudices. En particulier, une planification proactive réduit la nécessité d'une intervention réactive aux préjudices causés par les phénomènes météorologiques extrêmes. Il peut être plus coûteux et moins efficace de réagir après coup [traduction]. (Wong et al., 2014)

L'adaptation aux changements climatiques est définie comme étant « le processus d'ajustement au climat réel ou prévu et à ses effets [traduction] » (GIEC, 2014b). L'adaptation s'impose à la fois pour réduire les risques et pour profiter des possibilités potentielles associées à l'évolution du climat. Il existe de nombreuses approches différentes de l'adaptation, entre autres la modification du comportement, les modifications opérationnelles, les interventions technologiques, les modifications à la planification et la révision des pratiques d'investissement, des règlements et des lois (Warren et Lemmen, 2014). Même si l'adaptation se fait spontanément dans l'environnement naturel, l'adaptation dans les systèmes humains exige souvent une planification minutieuse et une collaboration guidées à la fois par la recherche scientifique et

par une compréhension détaillée des systèmes touchés. Cette orientation est particulièrement importante dans les régions côtières, où de nombreux acteurs sont concernés et où le potentiel de mauvaise adaptation (des mesures qui accroissent la vulnérabilité aux changements climatiques par inadvertance) est élevé.

Parce que l'adaptation exige une modification de la façon de penser aussi bien que du processus lui-même, il s'agit nécessairement d'un processus itératif qui évolue constamment, éclairé par les nouvelles compréhensions, les conditions socioéconomiques changeantes et l'expérience pratique. Par exemple, les choix et l'efficacité des mesures d'adaptation dépendront dans beaucoup de cas de la réussite des efforts d'atténuation (encadré 2).

Les objectifs particuliers des processus d'adaptation peuvent inclure la sensibilisation et le renforcement des capacités, la mobilisation de ressources de même que l'évaluation et la mise en œuvre des options (figure 4; Eyzaguirre et Warren, 2014). Des mesures d'adaptation efficaces peuvent non seulement améliorer la résilience au climat, mais également contribuer à d'autres priorités stratégiques comme la préparation aux situations d'urgence et la diversification économique (encadré 3). En effet, le concept de l'intégration, préconisé par le Cadre stratégique fédéral sur l'adaptation du Canada, exige de considérer les changements climatiques comme un facteur parmi les autres dans tous les processus pertinents, comme les exercices d'élaboration de politiques, de planification et de prise de décisions.

ENCADRÉ 2

ADAPTATION ET ATTÉNUATION

Même si l'adaptation et l'atténuation (la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'amélioration des puits de gaz à effet de serre) sont parfois décrites comme étant des réactions distinctes aux changements climatiques, elles sont inextricablement liées. La réussite des mesures d'atténuation a une incidence directe sur le besoin d'adaptation et sur la viabilité des différentes options d'adaptation. L'atténuation réduit à la fois l'importance et la vitesse des changements climatiques. Plus les réductions des émissions de gaz à effet de serre sont importantes, plus les mesures d'adaptation ont de chances d'être couronnées de succès.

Par exemple, les scénarios présentés dans un récent rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2013c) décrivent un éventail d'avenirs plausibles aux termes lesquels la température moyenne à la surface de la Terre augmentera probablement de 0,3 à 4,8 °C pour la période allant de 2081 à 2100 (par rapport à la moyenne de la période s'étendant de 1985 à 2005), avec les élévations connexes du niveau mondial de la mer de 0,26 à 0,82 m. Les plus faibles augmentations de la température sont associées à des mesures d'atténuation très ambitieuses à l'égard des émissions de gaz à effet de serre et entraîneraient une élévation moindre du niveau de la mer, exigeant du même fait moins d'investissements dans les mesures d'adaptation. Cette relation devient encore plus importante lorsque l'on tient compte du fait que le niveau de la mer continuera de changer au-delà du siècle en cours. Même si l'adoption de mesures ambitieuses d'atténuation à l'égard des gaz à effet de serre au cours des décennies à venir peut limiter l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale à environ 1 m au cours des 500 prochaines années, les scénarios ne présentant eux que des efforts d'atténuation limités pourraient entraîner une élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale d'environ 1 m à plus de 3 m d'ici l'an 2300 (Church et al., 2013).

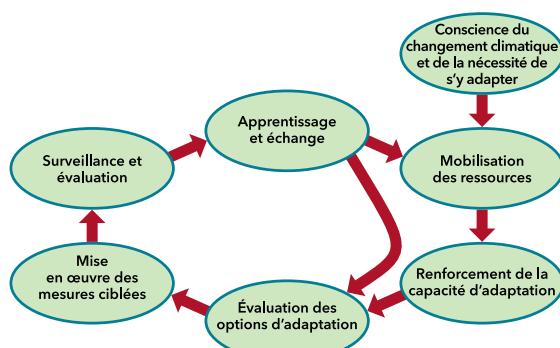


FIGURE 4 : Le processus itératif d'adaptation (extrait modifié tiré de Eyzaguirre et Warren, 2014).

CONFiance ET INCERTITUDE

La planification de toute activité future présente inévitablement un certain degré d'incertitude. Les évaluations scientifiques mondiales du GIEC utilisent une terminologie prédéfinie pour exprimer l'incertitude en termes de probabilité, à partir d'une analyse statistique ou d'une opinion d'expert (GIEC, 2014b, p. 6). Dans la présente évaluation, nous utilisons le langage courant plutôt que des termes définis de manière statistique pour exprimer la probabilité. Cette approche a été adoptée parce qu'il est rare de disposer de données quantitatives sur la probabilité des impacts à l'échelle nationale et on s'appuie donc lourdement sur l'expertise des équipes d'auteurs.

Dans le même ordre d'idées, même si d'autres évaluations adoptent une terminologie prédéfinie pour illustrer la confiance scientifique à l'égard des constatations, le présent rapport utilise le langage courant. La confiance est la plus élevée soit lorsque les impacts prévus sont conformes aux impacts observés à l'étude des tendances historiques ou soit lorsqu'un grand nombre d'études sont parvenues de manière indépendante à des conclusions semblables.

On a connu au cours des dernières années une expansion rapide de la documentation sur le sujet de l'adaptation (Burkett et al., 2014). De nombreuses approches spécifiques se sont avérées utiles dans le contexte côtier à l'échelle mondiale, y compris l'adaptation fondée sur la communauté et l'adaptation fondée sur l'écosystème (Shaw et al., 2014; Wong et al., 2014), qui ont toutes deux pour but d'améliorer la résilience. Les meilleures approches de l'adaptation seront propres à un lieu et un contexte donné. Au Canada, y compris le long des côtes, on a beaucoup insisté sur l'adaptation à l'échelle communautaire (Eyzaguirre et Warren, 2014). La valeur des approches fondées sur l'écosystème, qui consistent à utiliser la biodiversité et les services des écosystèmes dans le cadre d'une stratégie générale d'adaptation, est de plus en plus reconnue au Canada comme moyen d'aborder certains enjeux côtiers (voir les chapitres 3, 4 et 6).

Il existe en outre de nombreuses façons de classifier les mesures d'adaptation afin de conter les impacts des changements climatiques le long des côtes. Dans la documentation scientifique et technique, il est courant de grouper les mesures d'adaptation côtière, en particulier celles visant à conter l'élévation du niveau de la mer et les inondations côtières, en quatre catégories (voir le chapitre 3) : l'évitement ou le retrait, l'accommodation, l'absence d'intervention active et la protection (mesures rigides et souples). En réalité, la plupart des stratégies d'adaptation côtières intégreront sans doute plusieurs, voire la totalité, de ces groupes de mesures.

ENCADRÉ 3

PRINCIPES RELATIFS À UNE ADAPTATION EFFICACE

(GIEC, 2014b, p. 25-28)

La contribution au Résumé à l'intention des décideurs du Groupe de travail II (Impacts, adaptation et vulnérabilité) dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC souligne un certain nombre de grands principes sur lesquels s'appuie une adaptation réussie. Ceux parmi ces principes qui sont pertinents eu égard aux enjeux abordés dans le présent rapport comprennent :

- L'adaptation est propre à un lieu et à un contexte; il n'existe aucune approche unique de la réduction des risques qui soit appropriée en toutes circonstances.
- La planification et la mise en œuvre de l'adaptation peuvent être améliorées par des mesures complémentaires prises par tous les niveaux, du particulier jusqu'aux gouvernements.

- La première étape vers l'adaptation aux changements climatiques futurs consiste à réduire la vulnérabilité et l'exposition à la variabilité du climat actuel.
- Les stratégies d'adaptation efficaces comprennent des mesures présentant des avantages à l'égard d'autres objectifs.
- La planification et la mise en œuvre de l'adaptation dépendent des valeurs sociétales, des objectifs et de la perception des risques.
- Les instruments économiques existants et nouveaux peuvent favoriser l'adaptation en incitant à prévoir et à réduire les impacts.
- La mauvaise planification, l'insistance exagérée sur les résultats à court terme ou le défaut de prévoir les conséquences de manière convenable peuvent entraîner une mauvaise adaptation.

4 PORTÉE ET FORMAT DU RAPPORT

La présente évaluation, *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, traite des possibilités et des risques actuels et futurs que présentent les changements climatiques pour les régions côtières du Canada. Elle souligne ce que nous savons sur la vulnérabilité et sur les principaux enjeux auxquels est confrontée chaque région côtière afin de constituer une ressource pertinente à l'égard des politiques pour éclairer, à l'échelle régionale et nationale, la prise de décisions en matière de gestion côtière de même que l'élaboration de stratégies d'adaptation aux changements climatiques. L'évaluation est fondée sur une analyse critique des connaissances existantes, qui elle-même s'appuie sur la documentation scientifique et technique publiée (publications examinées par des pairs et publications « grises ») de même que sur des connaissances d'experts (y compris les connaissances traditionnelles). Même si elle met l'accent sur les études réalisées au Canada, l'évaluation incorpore des sources internationales au besoin. Dans tous les chapitres, on aborde les impacts sur les écosystèmes et l'adaptation principalement dans le contexte du secteur des pêches et des services écosystémiques. Les principaux concepts reflètent ceux des évaluations antérieures canadiennes (Lemmen et al., 2008; Warren et Lemmen, 2014) et internationale (GIEC, 2014b) des impacts des changements climatiques et de l'adaptation aux changements climatiques. La terminologie principale est présentée dans l'encadré 4.

Le rapport est structuré par région, les principaux chapitres de l'évaluation présentant une perspective régionale sur les régions de la côte Est, de la côte Nord et de la côte Ouest du Canada (chapitres 4–6). Chacun de ces chapitres présente le contexte régional, puis aborde les changements climatiques observés et prévus dans la région de même que les approches d'adaptation, ainsi que les possibilités et les risques liés aux changements climatiques. On utilise des études de cas pour fournir davantage de détails sur des enjeux particuliers, afin de souligner des exemples d'initiatives d'adaptation efficaces et de cerner les éléments transposables d'un cas à un autre. En reconnaissance des importantes différences entre les régions, les chapitres régionaux ne suivent pas un modèle commun.

En plus de la présente « Introduction », il y a deux chapitres de soutien. Le « Chapitre 2 : Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation » donne un aperçu de la diversité et de la nature dynamique du littoral maritime du Canada et traite des changements climatiques passés et prévus, du changement du niveau de la mer et des impacts et répercussions du changement des niveaux d'eau moyens et extrêmes. Le « Chapitre 3 : Le défi côtier » traite de la manière dont les changements en cours et prévus peuvent toucher les sociétés et les milieux côtiers et donne un aperçu des approches de l'adaptation, en décrivant comment elles sont utilisées le long du littoral canadien. Le rapport termine avec le « Chapitre 7 : Foire aux questions », qui étoffe le contenu des autres chapitres, pour fournir une ressource facile d'accès qui explique, en langage ordinaire, les principaux enjeux des changements climatiques auxquels sont confrontées les régions côtières du Canada.

ENCADRÉ 4

TERMINOLOGIE PRINCIPALE DU PRÉSENT RAPPORT

(extrait modifié tiré de GIEC, 2013a, 2014a, p. 5)

L'adaptation est le processus d'ajustement au climat réel ou prévu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation cherche à atténuer ou à éviter les préjudices ou encore à exploiter les possibilités bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'ajustement au climat prévu et à ses effets.

La **capacité d'adaptation** est la capacité des systèmes, des institutions, des humains et d'autres organismes à s'ajuster aux dommages potentiels, à profiter des possibilités ou à réagir aux conséquences.

Les **changements climatiques** désignent des changements dans l'état du climat qui peuvent être définis (p. ex. au moyen de tests statistiques) par des changements dans la moyenne et/ou la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une période prolongée, généralement des décennies ou plus. Ils désignent tout changement dans le climat au fil du temps, qu'il soit attribuable à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine.

Le **danger** est l'occurrence potentielle d'un événement, d'une tendance ou d'un phénomène physique naturel ou anthropique ou d'un impact physique susceptible de provoquer la mort, des blessures ou d'autres effets sur la santé de même que de détruire et d'endommager les biens, l'infrastructure, les moyens de subsistance, la prestation des services, les écosystèmes et les ressources environnementales.

L'**exposition** désigne la présence de personnes, d'espèces ou d'écosystèmes de subsistance; de ressources, fonctions et services environnementaux; d'infrastructures; ou d'actifs économiques, sociaux ou culturels dans des endroits ou des contextes où ils pourraient subir des préjudices.

Les **impacts** sont les effets sur les systèmes naturels et humains. Le terme « impact » est principalement utilisé pour désigner les effets sur les systèmes naturels et humains des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes de même que des changements climatiques. Les impacts désignent généralement les effets sur la vie, les moyens de subsistance, la santé, les écosystèmes, les économies, les sociétés, les cultures, les services et l'infrastructure découlant de l'interaction des changements climatiques ou de phénomènes météorologiques dangereux se produisant pendant une période donnée, ainsi que la vulnérabilité d'une société ou d'un système qui leur est exposé. Les impacts sont également appelés « conséquences » et « résultats ». Les impacts des changements climatiques sur les systèmes physiques naturels, y compris les schémas de précipitations (p. ex. inondations et sécheresses) et le cycle hydrologique global (p. ex. élévation du niveau de la mer), constituent un sous-ensemble d'impacts appelé impacts physiques.

L'**incertitude** est une situation caractérisée par des lacunes au niveau des connaissances pouvant découler d'un manque d'information ou de désaccords sur ce que l'on sait, voire ce que l'on peut savoir. Elle peut être attribuable à de nombreuses raisons, par exemple à des imprécisions dans les données, à des ambiguïtés dans la définition de concepts ou dans la terminologie, ou encore à des prévisions incertaines en ce qui a trait au comportement humain.

Une **mauvaise adaptation** est un ensemble de mesures

susceptibles d'entraîner une augmentation des risques de résultats liés aux conditions climatiques malsaines, une augmentation de la vulnérabilité aux changements climatiques ou une diminution du bien-être actuel ou futur.

L'**onde de tempête** est la différence temporaire entre le niveau d'eau attendu et le niveau d'eau réel en un endroit donné en raison des conditions météorologiques, en particulier la pression atmosphérique. De forts vents de mer et une faible pression atmosphérique peuvent provoquer une onde de tempête positive entraînant l'élévation de l'eau à un niveau supérieur aux prévisions. De forts vents de mer et une forte pression atmosphérique peuvent provoquer une onde de tempête négative entraînant l'élévation de l'eau à un niveau inférieur aux prévisions.

La **résilience** est la capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux de composer avec une tendance ou un événement dangereux ou avec une perturbation, et d'y réagir ou de se réorganiser de manière à maintenir sa fonction, son identité et sa structure essentielles tout en maintenant la capacité d'adaptation, d'apprentissage et de transformation.

Le **risque** est la possibilité de conséquences lorsqu'une chose de valeur est en jeu et le résultat est incertain, compte tenu de la diversité des valeurs. Le risque est souvent représenté comme la probabilité de l'occurrence d'une tendance ou d'un événement dangereux, multipliée par les répercussions de cette tendance ou de cet événement s'il se produit. Le risque découle de l'interaction entre la vulnérabilité, l'exposition et le danger.

La **sensibilité** est le degré auquel un système est touché, de manière positive ou négative, par la variabilité du climat ou les changements climatiques. L'effet peut être direct (p. ex. changement dans le rendement des récoltes en réponse à un changement dans la température moyenne, la fourchette de températures ou la variabilité de la température) ou indirect (p. ex. dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières découlant de l'élévation du niveau de la mer).

Les **services écosystémiques** sont des processus ou des fonctions écologiques ayant une valeur monétaire ou autre pour les personnes ou la société en général. Ces services sont souvent classifiés de la façon suivante : 1) services de soutien, comme la productivité ou le maintien de la biodiversité; 2) services d'approvisionnement, comme les aliments, les fibres ou le poisson; 3) services régulateurs, comme la régulation du climat ou la séquestration du carbone; et 4) services culturels, comme le tourisme ou l'appréciation spirituelle et esthétique.

La **variabilité du climat** désigne des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (comme les écarts-types et l'occurrence des extrêmes) climatiques à toutes les échelles spatiales et temporelles supérieures à l'échelle des phénomènes météorologiques individuels. La variabilité peut être attribuable à des processus internes naturels du système climatique ou à des variations dans le forçage externe naturel ou anthropique.

La **vulnérabilité** est la propension ou la prédisposition à subir un préjudice. La vulnérabilité englobe divers concepts et éléments, y compris la sensibilité ou la susceptibilité aux préjudices de même que le manque de capacité d'adaptation.

5 RÉFÉRENCES

- Atlas du Canada (1972) : Facts about Canada – Coastline, Ressources naturelles Canada.
- Association des administrations portuaires canadiennes (2013) : Industry information – Canadian port industry, Association des administrations portuaires canadiennes, <http://www.acpa-ports.net/industry/industry.html>.
- Bekkby, T., Erikstad, L., Bekkstuen, V. et Bjørge, A. (2002) : A landscape ecological approach to marine coastal zone applications, *Sarsia*, vol. 87, n° 5, p. 396–408. doi:10.1080/0036482021000155845
- Boateng, I. (2008) : Integrating sea-level rise adaptation into planning policies in the coastal zone, FIG Working Week 2008, Stockholm, Suède, 22 p., http://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2008/ppt/ts03f/ts03f_03_boateng_ppt_2722.pdf.
- Burkett, V.R., Suarez, A.G., Bindi, M., Conde, C., Mukerji, R., Prather, M.J., St. Clair, A.L. et Yohe, G.W. (2014) : Point de départ, dans *Changements climatiques 2014: conséquences, adaptation et vulnérabilité; Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels, contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport 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. 1–32, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgll_spm_en.pdf.
- Bush, E.J., Loder, J.W., James, T.S., Mortsch, L.D. et Cohen, S.J. (2014) : Un aperçu des changements climatiques au Canada, 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.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf.
- 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) : Elévation du niveau de la mer, dans *Changements climatiques 2013: les éléments scientifiques, contribution du Groupe de travail I au Cinquième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)*, T.F. Stocker, D. Quin, 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.
- Eyzaguirre, J. et Warren, F.J. (2014) : Adaptation: établir un lien entre la recherche et la pratique, 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.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre9-Adaptation_Fra.pdf.
- GESAMP [Groupe mixte d'experts chargé d'étudier les aspects scientifiques de la protection de l'environnement marin] et Comité consultatif sur la protection de la mer (2001) : Protecting the oceans from land-based activities – Land-based sources and activities affecting the quality and uses of the marine, coastal and associated freshwater environment, IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP, rapports et études du GESAMP 71, 162 p., http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/media/Publications/Reports_and_studies_71/gallery_1371/object_1490_large.pdf.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013a) : Glossaire, dans *Changements climatiques 2013: les éléments scientifiques, contribution du Groupe de travail I au Cinquième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, T.F. Stocker, D. Quin, 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. 1447–1465, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_AnnexxII_FINAL.pdf.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013b) : Human influence on climate clear, IPCC report says, communiqué de presse 2013/20/P du GIEC, 27 septembre 2013, 3 p., http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/press_release_ar5_wgi_en.pdf.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013c) : Résumé à l'intention des décideurs; dans *Changements climatiques 2013: les éléments scientifiques, contribution du Groupe de travail I au Cinquième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, T.F. Stocker, D. Quin, 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. 3–29, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014a) : Glossaire, dans *Changements climatiques 2014: conséquences, adaptation et vulnérabilité, contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport 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/WGIIAR5-AnnexxII_FINAL.pdf.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014b) : Résumé à l'intention des décideurs, dans *Changements climatiques 2014: conséquences, adaptation et vulnérabilité, contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport 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. 1–32, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgll_spm_en.pdf.
- 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.
- 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 (Ontario), 448 p., http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/full-complet_f.pdf.
- Mandelbrot, B. (1967) : How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, *Science*, vol. 156, n° 3775, p. 636–638.
- Melillo, J.M., Richmond, T.C. et Yohe, G.W., éditeurs (2014) : Climate change impacts in the United States: the third national climate assessment, U.S. Global Change Research Program, 841 p., <http://nca2014.globalchange.gov/report>.
- 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.
- Nicholls, R.J., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Château, J. et Muir-Wood, R. (2008) : Ranking port cities with high exposure and vulnerability to climate extremes: exposure estimates, OECD Environmental Working Papers, n° 1, 62 p., <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/5kzssghj742.pdf?Expires=1430833054&id=id&accname=guest&checksum=AB8AFBBE353D81BEDFC638DE21D2FAB7>.
- Shaw, M.R., Overpeck, J.T. et Midgley, G.F. (2014) : Cross-chapter box on ecosystem based approaches to adaptation – emerging opportunities, dans *Changements climatiques 2014: conséquences, adaptation et vulnérabilité, Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels, contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport 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. 101–103, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf.
- Simpson, M.C., Mercer Clarke, C.S.L., Clarke, J.D., Scott, D. et Clarke, A.J. (2012) : Coastal setbacks in Latin America and the Caribbean: a study of emerging issues and trends that inform guidelines for coastal planning and development, Banque interaméricaine de développement, Technical Note IDB-TN-476, 175 p., <http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5567/Coastal%20Setbacks%20in%20Latin%20America%20and%20the%20Caribbean.pdf?sequence=1>.
- Stewart, B. et Neily, P. (2008) : A procedural guide for ecological landscape analysis: an ecosystem based approach to landscape level planning in Nova Scotia, Approved Guide for the Nova Scotia Department of Natural Resources Integrated Resource Management (IRM) Planning Process, Report for 2008–2, 45 p., <http://novascotia.ca/nat/forestry/reports/Procedural-Guide-For-Ecological-Landscape-Analysis.pdf>.
- Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (2011) : Le prix à payer: répercussions économiques du changement climatique pour le Canada, Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, Rapport 04, 172 p., http://www.fcm.ca/Documents/reports/PCP/paying_the_price_FR.pdf.
- UNEP-GPA [Programme des Nations Unies pour l'Environnement-Programme d'action mondial pour la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres] (2005) : Guiding principles for post-tsunami rehabilitation and reconstruction: The Cairo Principles, Tsunami Disaster Task Force en collaboration avec le bureau de coordination du Programme d'action mondial pour la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres de l'UNEP, Le Caire, Égypte, 8 p.
- Warren, F.J. et Lemmen, D.S., éditeurs (2014) : Vivre avec les changements climatiques au Canada: perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 286 p., https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf.
- Wong, P.P., Losada, I.J., Gattuso, J.-P., Hinkel, J., Khattabi, A., McInnes, K.L., Saito, Y. et Sallenger, A. (2014) : Systèmes côtiers et basses terres littorales, dans *Changements climatiques 2014: conséquences, adaptation et vulnérabilité, Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels, contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport 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. 361–409, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap5_FINAL.pdf.

CHAPITRE 2 : UN LITTORAL DYNAMIQUE DANS UN CONTEXTE DE CLIMAT EN MUTATION

Auteurs principaux :

David E. Atkinson (Université de Victoria), Donald L. Forbes (Ressources naturelles Canada) et Thomas S. James (Ressources naturelles Canada)

Auteurs collaborateurs :

Nicole J. Couture (Ressources naturelles Canada) et Gavin K. Manson (Ressources naturelles Canada)

Notation bibliographique recommandée :

Atkinson, D.E., D.L. Forbes et T.S. James. « Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation », dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C. Mercer Clarke (éd.); Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2016, p. 27–68.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	30		
2	VARIABILITÉ CÔTIÈRE	30		
2.1	CONTEXTE GÉOLOGIQUE	31		
2.2	PROCESSUS CÔTIERS	34		
2.2.1	ÉROSION ET RECOL DU RIVAGE	36		
2.2.2	CONTRÔLE SUR LE RYTHME DES CHANGEMENTS CÔTIERS	37		
3	ÉVOLUTION DU CLIMAT	39		
3.1	MOTEURS DU CHANGEMENT	39		
3.2	VARIABILITÉ ET CHANGEMENT CLIMATIQUES	41		
3.3	FACTEURS DÉTERMINANTS DU CLIMAT	42		
3.4	TENDANCES ET PRÉVISIONS	43		
3.4.1	TENDANCES	43		
3.4.2	PRÉVISIONS	44		
3.5	TEMPÈTES ET GLACE DE MER	44		
3.5.1	TEMPÈTES	44		
3.5.2	GLACE DE MER	45		
3.5.3	CHANGEMENTS AU NIVEAU DE L'ACTIVITÉ ORAGEUSE	46		
4	MODIFICATION DU NIVEAU DE LA MER	46		
4.1	CHANGEMENT HISTORIQUE DU NIVEAU DE LA MER	47		
4.2	CHANGEMENT FUTUR DU NIVEAU DE LA MER	49		
4.2.1	ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER À L'ÉCHELLE MONDIALE	49		
4.2.2	MOUVEMENT VERTICAL DES TERRES	51		
4.2.3	EFFETS DU CHANGEMENT DANS LA MASSE DE GLACE ACTUELLE	52		
4.2.4	EFFETS OCÉANOGRAPHIQUES RÉGIONAUX	52		
4.3	PRÉVISIONS DU CHANGEMENT DU NIVEAU DE LA MER AU CANADA	52		
4.3.1	PRÉVISIONS DU CHANGEMENT DU NIVEAU RELATIF DE LA MER	52		
4.3.2	NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES	54		
4.3.3	PRÉVISIONS DU NIVEAU DE LA MER AU-DELÀ DE L'AN 2100	55		
5	RÉACTION DE LA CÔTE À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER ET AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	56		
5.1	RÉACTION PHYSIQUE	56		
5.2	RÉACTION ÉCOLOGIQUE	57		
5.2.1	COMPRESSION CÔTIÈRE	57		
5.2.2	DUNES CÔTIÈRES	58		
5.2.3	TERRES HUMIDES CÔTIÈRES, REPLATS DE MARÉE ET EAUX CÔTIÈRES PEU PROFONDES	60		
5.3	VISUALISATION DE L'INONDATION CÔTIÈRE	61		
6	RÉSUMÉ ET SYNTHÈSE	61		
7	RÉFÉRENCES	63		

1 INTRODUCTION

Le présent chapitre met l'accent sur la nature dynamique du littoral maritime du Canada et les moteurs environnementaux du changement côtier face à l'évolution du climat. Comprendre la manière dont l'évolution du climat peut modifier la stabilité côtière de même que la nature de la réaction côtière fournit un point de départ pour évaluer les changements éventuels en ce qui a trait aux dangers côtiers et leurs répercussions sur les collectivités humaines et les infrastructures. Alors que les effets des changements climatiques sur le niveau de la mer sont généralement compris (GIEC, 2013), les effets secondaires de la modification du niveau de la mer sur le littoral continuent de mettre à l'épreuve notre compréhension et nos pratiques de gestion (Davidson-Arnott, 2005; FitzGerald *et al.*, 2008; Wolinsky, 2009; Wolinsky et Murray, 2009; Wong *et al.*, 2014; Woodroffe *et al.*, 2014). D'autres aspects des changements climatiques ont une incidence importante sur les côtes, y compris les changements au niveau de l'activité orageuse, les ondes de tempête et le climat des vagues, les changements dans les propriétés de l'eau de mer, entre autres la température et le pH, et les changements dans la nature, la durée et la dynamique de la glace de mer.

Le chapitre s'ouvre sur un aperçu de la diversité et de la nature dynamique du littoral maritime du Canada (figure 1), lui-même suivi d'un aperçu de l'évolution des climats côtiers, y compris les changements passés et futurs prévus dans la température, les précipitations, l'activité orageuse et les événements météorologiques connexes qui alimentent le changement côtier. Le chapitre se poursuit avec un résumé des tendances passées relatives au niveau de la mer et les plus récentes prévisions des changements futurs du niveau moyen de la mer au Canada, puis se conclut en traitant des répercussions de l'évolution du climat, y compris les changements dans les niveaux d'eau moyens et extrêmes, sur l'état physique et l'intégrité écologique du littoral.

Même si ce chapitre met l'accent sur l'environnement physique des côtes, les effets des changements climatiques ont une portée beaucoup plus large, touchant la durabilité de l'écosystème, les

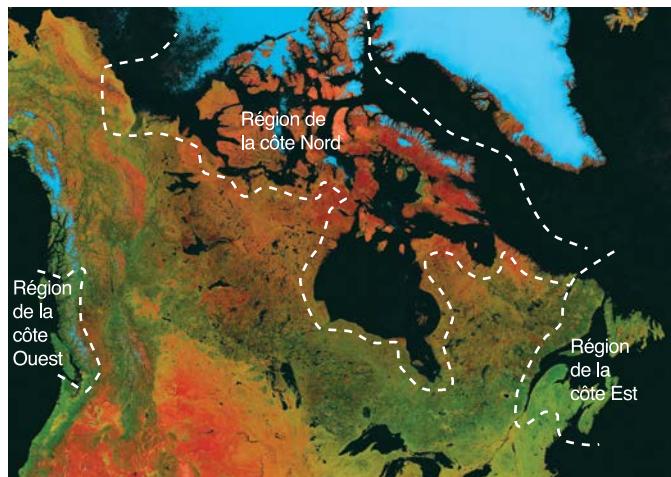


FIGURE 1 : Les côtes maritimes du Canada, délimitant largement les trois régions examinées dans ce rapport.

ressources renouvelables, la sécurité alimentaire, la santé et le bien-être, l'énergie, la prospérité économique, l'intégrité culturelle et d'autres aspects de ces systèmes socio-écologiques. Ces sujets sont abordés dans les chapitres subséquents du présent rapport (voir les chapitres 3 à 6).

2 VARIABILITÉ CÔTIÈRE

Le Canada a non seulement le plus long littoral du monde (environ 243 000 km; Taylor *et al.*, 2014), mais on pourrait affirmer l'un des plus variés. Toutes les provinces et tous les territoires, à l'exception de l'Alberta et de la Saskatchewan, ont des littoraux maritimes. Ceux-ci vont des promontoires rocheux de milieu à haute énergie du sud de Terre-Neuve aux côtes sédimentaires de milieu à très faible énergie, prises dans les glaces, du nord-ouest de l'archipel arctique canadien. Ils comprennent des fjords à la topographie très accidentée, des falaises découpées dans la roche en place ou dans les dépôts glaciaires et proglaciaires, des plages, des flèches et des îles barrières, des dunes, des marais salés et des zones intertidales, des côtes en pergélisol riche en glace, et de grands deltas comme ceux de l'embouchure du fleuve Fraser en Colombie-Britannique et du fleuve Mackenzie dans l'ouest de l'Arctique. Les côtes du Canada subissent l'influence d'une gamme de marées qui s'étend de marées d'une intensité négligeable aux marées les plus hautes du monde (dans la baie de Fundy et la baie d'Ungava). L'exposition à l'énergie des vagues varie de très faible dans les lieux bien protégés, à très élevée dans les lieux pleinement exposés à l'action des océans Atlantique ou Pacifique. La géomorphologie et les processus côtiers varient grandement aussi bien à l'intérieur de toutes les régions étudiées dans le cadre du présent rapport qu'entre ces dernières (voir les chapitres 4 à 6).

Les changements dans le niveau de la mer au Canada ne sont que partiellement attribuables aux tendances touchant le niveau moyen mondial de la mer. À l'échelle locale, plusieurs facteurs peuvent entraîner d'importants écarts par rapport à la tendance moyenne mondiale. Parmi ces facteurs, l'un des plus importants est le déplacement vertical de la croûte terrestre, qui se traduit par d'importantes variations dans les tendances touchant le niveau relatif de la mer à l'échelle panafricaine, allant d'une baisse rapide dans certaines parties du Centre de l'Arctique à une élévation de plus en plus rapide dans les Maritimes. La section 4 du présent chapitre traite de manière plus détaillée ce phénomène, de même que d'autres facteurs ayant des répercussions sur le changement du niveau de la mer à l'échelle locale.

L'importance de la glace de mer varie considérablement, elle aussi, le long du littoral maritime du Canada. Dans l'Arctique, la glace de mer a pour effet d'empêcher ou de limiter considérablement la dynamique côtière pendant une grande partie de l'année; elle limite entre autres le fetch en mer libre pendant l'été. La plupart des régions de la côte Est sont exposées à la glace de mer chaque année, avec des effets dont l'importance varie entre considérable et négligeable. Sur la côte Ouest, la glace mince n'apparaît que rarement dans les eaux protégées. Dans toutes les régions où la glace de mer apparaît, elle peut jouer un rôle important dans le transport des sédiments, la morphologie littorale et les dangers posés par la glace (Forbes et Taylor, 1994). Le réchauffement climatique a déjà changé la date moyenne du

déglacement et de l’englacement de l’eau de mer et de la durée de la saison des eaux libres (Stammerjohn *et al.*, 2012; Stroeve *et al.*, 2012), entraînant ainsi d’importantes répercussions sur l’exposition côtière aux ondes et aux ondes de tempête (Vermaire *et al.*, 2013). La réduction de la glace de mer est un souci majeur pour les systèmes écologiques et humains qui dépendent de la glace (p. ex. Gaston *et al.*, 2012; Laidre *et al.*, 2012; Stirling et Derocher, 2012).

La climatologie des tempêtes (p. ex. caractéristiques, gravité, fréquence saisonnière, mode de trajectoire et variance des tempêtes) varie entre les côtes de l’Atlantique, de l’Arctique et du Pacifique (p. ex. Wang *et al.*, 2006) de même qu’autour du bassin arctique (Atkinson, 2005). La côte de l’Atlantique subit l’éventail complet des systèmes de tempête cyclonique tropicale et extratropicale, de même que des « événements de transition tropicale » (cyclones tropicaux en voie de devenir des cyclones extratropicaux) en évolution rapide. Tous ces types de tempête ont des répercussions sur la stabilité côtière et les dangers côtiers (Forbes *et al.*, 2004; Parkes *et al.*, 2006). La côte du Pacifique subit de gros systèmes de tempête extratropicale matures qui s’arrêtent lorsqu’ils se butent à la chaîne Côtière, créant ainsi la possibilité que les effets s’en fassent sentir pour une période de temps prolongée. Le nord du Canada subit des tempêtes qui s’avancent dans la région plutôt que de se former sur place. La trajectoire la plus importante prend son origine au sud-est (de la mer du Labrador vers le nord jusqu’à l’île de Baffin, au Nunavut), alors qu’une trajectoire secondaire majeure se dessine arrivant de l’ouest par la mer de Beaufort (Maxwell, 1981, 1982).

2.1 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

L’héritage des glaciations antérieures est évident presque partout au Canada; ces dernières ont altéré l’évolution et la morphologie du littoral (Forbes, 2011) et leur action a conféré au littoral canadien un aspect bien différent de celui d’une grande partie du littoral des États-Unis continentaux au sud. De grands fjords, produits de l’érosion glaciaire, dominent les côtes de la Colombie-Britannique, de certaines parties de Terre-Neuve et du Labrador et des îles orientales de l’archipel arctique canadien (figure 2). Les dépôts glaciaires rigides, comme le till riche en argile, offrent une certaine résistance à l’érosion et peuvent former de hautes falaises, mais l’attaque de la base par les vagues combinée à l’érosion subaérienne de la pente (processus d’érosion comme le gel-dégel, l’érosion de pente et les éboulements; Manson, 2002; Forbes, 2011) finissent par en avoir raison. Une glaciation active dans la chaîne Côtière en Colombie-Britannique, dans le massif St-Élias au Yukon et dans l’est de l’Arctique continue d’apporter des sédiments d’épandage fluvioglaciaire dans l’océan (Forbes, 2011). L’étendue des plate-formes de glace flottante le long de la côte nord de l’île d’Ellesmere, au Nunavut, a rapidement diminué au cours des dernières années, mais certaines parties du front glaciaire subsistent (voir le chapitre 5; Mueller *et al.*, 2003; Copland *et al.*, 2007).

Les effets de la dernière glaciation continentale sont également d’une importance capitale lorsqu’il s’agit de déterminer la direction et l’ampleur du changement du niveau de la mer au Canada, lequel joue un rôle primordial dans l’évolution du littoral. Dans des régions comme la baie d’Hudson, où le plus important abaissement



FIGURE 2 : Le fiord Tingin de l’île de Baffin, au Nunavut, lequel montre une vallée à coupe transversale classique « en augé » bordée par des murs de roc verticaux, une plaine d’épandage fluvioglaciaire (delta) à l’extrémité amont du fiord (tête du bras droit au centre de la partie supérieure de l’image), des champs de glace persistants sur les plateaux et un panache de sédiments en suspension issu d’un écoulement glaciaire local sur le côté opposé du bras gauche. Photo gracieuseté de D.L. Forbes, Ressources naturelles Canada, juillet 2008.

isostatique de la croûte terrestre sous le poids des inlandis continental s’est produit au cours du dernier maximum glaciaire (il y a entre 20 et 25 mille ans), un relèvement isostatique glaciaire est en cours, le niveau de la mer local chute et la côte émerge. Là où l’émergence de la côte se poursuit depuis des milliers d’années, les lignes de côte abandonnées sont marquées par des successions de plages soulevées (figure 3; St-Hilaire-Gravel *et al.*, 2010) et les collectivités côtières de ces régions sont confrontées à un exhaustissement progressif de leurs approches maritimes (Forbes *et al.*, 2014a), ce qui peut poser autant de problèmes qu’une élévation du niveau de la mer à l’échelle locale.

Dans les zones adjacentes à l’ancien inlandis continental, la réaction postglaciaire prend la forme d’une subsidence régionale, de sorte que les anciennes lignes de côte sont maintenant



FIGURE 3 : Les plages soulevées de l’île Lowther, dans le détroit du Vicomte de Melville, au Nunavut, témoignent de la progression de l’émergence des terres de même que des effets de la force des vagues et de la glace au cours de 6 000 dernières années (St-Hilaire-Gravel *et al.*, 2010). Photo gracieuseté de D.L. Forbes, Ressources naturelles Canada, août 2009.

submergées (figure 4; Shaw *et al.*, 2002). Ces côtes partiellement submergées se reconnaissent aux baies et aux estuaires créés par l'inondation graduelle des vallées fluviales de même qu'aux flèches et aux cordons littoraux qui se forment à l'embouchure de ces baies (figure 5). L'ancienne réaction côtière à l'élévation du niveau de la mer dans ces zones, souvent caractérisée par une retraite de la ligne de rivage, constitue un guide des répercussions d'une élévation accélérée du niveau de la mer attribuable aux changements climatiques (Orford *et al.*, 2001). Sur la côte Ouest, le déplacement vertical du terrain découle d'une combinaison de

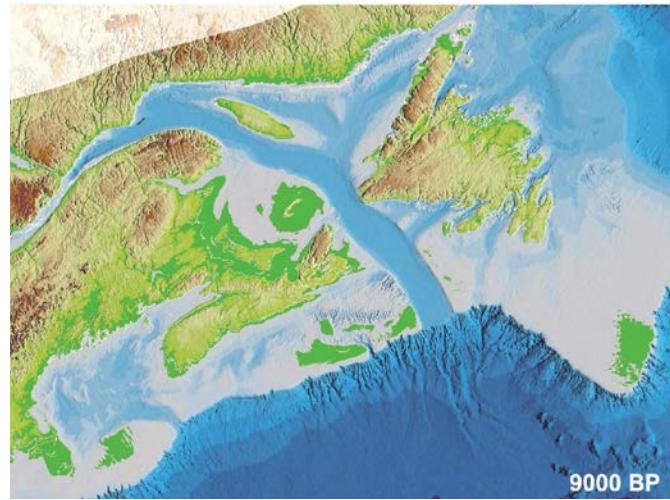


FIGURE 4 : Paléogéographie du Canada atlantique il y a 9 000 ans (tiré de la figure 9 de Shaw *et al.*, 2002). Il est à remarquer que les îles sur le banc Georges (en bas à gauche), le banc de l'Île de Sable, le banc Banquereau et le Grand Banc (à droite), de même que la grande île entourant les actuelles îles-de-la-Madeleine. Ni l'Île-du-Prince-Édouard, ni l'île du Cap-Breton n'étaient des îles à cette époque.

l'ajustement isostatique glaciaire à l'ancien inlandsis de la Cordillère et de mouvements tectoniques (James *et al.*, 2000; Clague et James, 2002; Shugar *et al.*, 2014). Les changements actuels dans la masse de glace de la chaîne Côtière et du golfe d'Alaska, de même que le compactage des sédiments dans le delta du fleuve Fraser (Mazzotti *et al.*, 2009), jouent également un rôle.

Les effets du remaniement côtier des sédiments glaciaires se remarquent le long d'une grande partie de la côte de l'Est du Canada et la nature des sédiments influe sur le résultat de ce remaniement (Forbes, 2011). Les plages et les cordons composés de gravier et d'un mélange de sable et de gravier prédominent dans cette région, sauf dans la partie sud du golfe du Saint-Laurent, où des dépôts glaciaires riches en sable issus de roches sédimentaires tendres permettent la création de grands cordons sablonneux dont la surface est parsemée de grosses dunes (figure 6a; McCann, 1980; Forbes *et al.*, 2004, 2014b). La côte de la péninsule de Tuktoyaktuk, dans l'ouest de l'Arctique canadien, est formée dans une région caractérisée par la présence de grands dépôts de sable du Pléistocène et de nombreux minces cordons de sable qui se déplacent vers l'intérieur des terres à la surface d'une plaine côtière de faible relief (figure 6b; Hill *et al.*, 1994; Forbes *et al.*, 2014b). À l'exception de ces régions, et même s'ils ne sont pas rares, les plages et les cordons sablonneux sont localisés et associés à des sources ou des puits de sable particuliers.

Dans les régions dotées d'une roche en place plus résistante, les dépôts glaciaires tendent à être surtout constitués de cailloux, de galets et de blocs rocheux, ce qui entraîne la formation de plages et de cordons au sein desquels la présence de gravier prédomine (Forbes et Syvitski, 1994) ; ceux-ci sont généralement reliés aux sources locales de sédiments d'origine glaciaire ou proglaciaire. La rencontre d'un niveau de la mer à la hausse avec des dépôts glaciaires se traduit généralement par l'érosion de falaises qui servent de sources de sédiments pour les plages, les flèches et les cordons courts de gravier (ou de galets de plage)

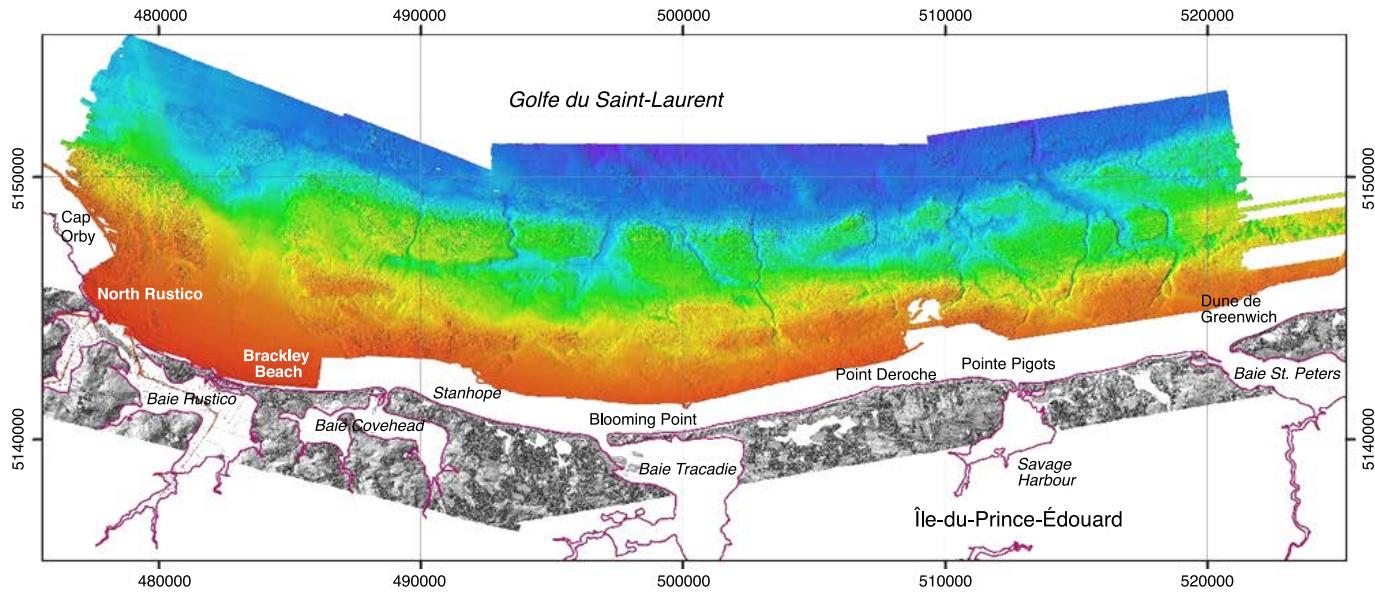


FIGURE 5 : Bathymétrie de la plate-forme interne (relief ombré en couleur) et topographie côtière (relief ombré en tons de gris) de la rive nord de l'Île-du-Prince-Édouard, montrant les vallées fluviales inondées par l'élévation du niveau relatif de la mer au cours des 8 000 dernières années (la ligne rouge représente la ligne de rivage actuelle). Les flèches et les cordons littoraux avec des dunes (p. ex. plages de Brackley Beach, de Blooming Point) traversent les limites côté mer des estuaires (p. ex. baie Rustico, baie Covehead, baie Tracadie). Source : Forbes *et al.* (2014b).

voisins (Forbes, 2011); le rythme de retraite de ces plages, flèches et cordons tend à faire preuve d'une grande variabilité temporelle (Orford *et al.*, 2001), ce qui constitue un problème lorsqu'il s'agit de prévoir les changements côtiers et de soutenir de façon durable l'utilisation des terres sublittorales.

Certaines portions de la côte canadienne, comme celle du sud de la mer de Beaufort, présentent une amplitude de marée négligeable et des régions intertidales restreintes. Toutefois, les ondes de tempête positives contribuent à la formation de replats



FIGURE 6 : Complexes de plages sablonneuses et de dunes à l'Île-du-Prince-Édouard et le long du littoral de la mer de Beaufort. **a)** Plage sablonneuse et dune protégées par un pied de glace (étroite bande de glace rugueuse teintée de sable rouge) et complexe de glace sublittoral (large bande de glace propre s'étendant vers le large au-delà du pied de glace), vues de l'ouest en direction de Point Deroche au loin, sur la rive nord de l'Île-du-Prince-Édouard. La lagune estuarienne à droite a été comblée en majeure partie au cours du dernier siècle. Photo gracieuseté de D.L. Forbes, Ressources naturelles Canada, mars 2000. **b)** Mince cordon sablonneux et avant-dune se déplaçant vers l'intérieur des terres à travers la toundra d'une plaine côtière de faible altitude, dans la baie Hutchison de la péninsule de Tuktoyaktuk, Territoires du Nord-Ouest. Photo gracieuseté de D. Whalen, Ressources naturelles Canada, août 2013.

de marée supralittoraux et, dans la région du delta du Mackenzie, de grandes accumulations de bois de grève à la limite d'inondation des ondes de tempête. Dans d'autres régions où l'amplitude de marée varie de faible (< 2 m, aussi appelées régions microtidales) à forte (jusqu'à 16 m, aussi appelées régions macrotidales ou hypertidales), les zones intertidales et les marais salés peuvent couvrir de très grandes étendues et offrir un habitat essentiel aux poissons et aux oiseaux (Hicklin, 1987; Galbraith *et al.*, 2002; Hill *et al.*, 2013). Certaines zones intertidales du Canada sont constituées presqu'exclusivement de blocs rocheux d'origine glaciaire et créent des formations distinctives, notamment des bourrelets ou des guirlandes de blocs rocheux (Forbes et Taylor, 1994).

Les deltas sont des caractères géographiques qui se manifestent fréquemment à l'embouchure des rivières et des fleuves et qui tendent à attirer l'habitation humaine. De grands deltas occupent les embouchures des fleuves Mackenzie et Fraser, et il existe de nombreux autres deltas plus petits comme ceux de la rivière Coppermine, au Nunavut, et ceux de la rivière aux Outardes, de la rivière Moisie et de la rivière Natashquan, au Québec, de même que de nombreux deltas à l'extrémité amont des fjords en Colombie-Britannique, à Terre-Neuve et au Labrador ainsi que sur l'île de Baffin. Beaucoup d'entre eux sont occupés par des établissements humains et des infrastructures, qui se trouvent donc ainsi exposés à l'action combinée des inondations fluviales et marines. Les grands deltas comme ceux de l'embouchure des fleuves Mackenzie et Fraser sont sujets à un auto-compactage et à d'autres subsidences locales (Mazzotti *et al.*, 2009), lesquels phénomènes contribuent à l'augmentation du risque d'inondation et à la perte potentielle d'habitat pour cause d'inondation en raison de l'élévation du niveau relatif de la mer.

Ce bref résumé de la variabilité côtière au Canada est un aperçu général qui illustre une grande partie, mais certainement pas la totalité, de l'éventail des contextes et des processus qui doivent être pris en considération lors de l'analyse de la stabilité côtière dans un contexte de climat en évolution. Une analyse pancanadienne de la sensibilité côtière à l'élévation du niveau de la mer a été réalisée à la fin des années 1990 (Shaw *et al.*, 1998). Les zones très sensibles à l'élévation du niveau de la mer comprenaient le nord-est de l'île Graham dans l'archipel Haida Gwaii (Colombie-Britannique), la côte de la mer de Beaufort, y compris le sud-ouest de l'île Banks (Territoires du Nord-Ouest), les côtes de cinq provinces (Québec, Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Île-du-Prince-Édouard et Terre-Neuve-et-Labrador) dans le golfe du Saint-Laurent de même que la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse. Une mise à jour de cette analyse, abordant la sensibilité aux impacts multiples des changements climatiques, est en cours (encadré 1).

ENCADRÉ 1

CANCOAST : UN OUTIL D'ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

CanCoast est un outil conçu afin de faciliter la planification de l'adaptation dans les régions côtières. Une initiative de la Commission géologique du Canada (qui fait partie de Ressources naturelles Canada), CanCoast est une base de données géospatiales fondée sur ArcGIS qui permet d'assembler, d'archiver et d'analyser des données côtières. Cette base de données géographiques correspond à une ligne vectorielle du rivage maritime à haute résolution tirée de CanVec9 (<http://geogratis.gc.ca/api/en/nrcan-rncan/ess-sst/-/28urn:iso:series%29canvec>), qui sert de base sur laquelle sont groupées les couches d'attributs côtiers associés aux caractères physiques, aux matériaux et aux processus (comme la géologie et le changement du niveau de la mer). Le regroupement de ces attributs, qui varient considérablement, sur une ligne de rivage commune permet de procéder à l'analyse de la sensibilité côtière aux changements climatiques à diverses échelles spatiales et temporelles.

À ce jour, un certain nombre de jeux de données issus de l'étude de Shaw *et al.* (1998) sur la sensibilité côtière au changement du niveau de la mer ont été cartographiés sur la ligne de rivage CanCoast. Cela comprend les formes de relief, l'amplitude des marées et la hauteur des vagues. Plusieurs couches supplémentaires ont été mises à jour ou ajoutées, par exemple :

- Le relief topographique est maintenant fondé sur les Données numériques d'élévation du Canada (une représentation sous forme matricielle des valeurs d'élévation couvrant l'ensemble du Canada à une résolution spatiale d'un kilomètre);
- L'élévation du niveau de la mer est fondée sur les prévisions de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle régionale d'ici 2050 en fonction du profil représentatif d'évolution de concentration RCP8.5 du Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC);

- Les conditions de glace de sol associées aux régions de pergélisol côtier qui ont été ajoutées proviennent de la carte du pergélisol canadien (Heginbottom *et al.*, 1995).

D'autres détails sur les diverses couches contenues dans la base de données géographiques CanCoast se retrouvent dans Couture et Manson (2016). En utilisant ces couches, on a mis au point un nouvel indice de sensibilité aux changements climatiques incorporant les données sur les inondations et l'érosion (figure 7). On compte au nombre des applications éventuelles de CanCoast, la cartographie et l'atténuation des dangers, la planification de l'adaptation, l'évaluation des impacts et l'analyse des lacunes au niveau des connaissances.

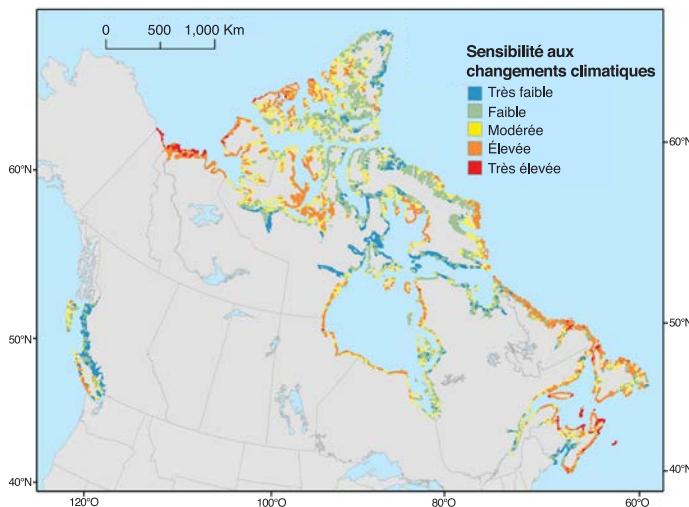


FIGURE 7 : Carte préliminaire de la sensibilité des côtes aux changements climatiques au Canada dressée à l'aide de la base de données CanCoast. La sensibilité est fondée sur les matériaux côtiers, les formes de relief, la glace de sol, la hauteur des vagues et l'amplitude des marées, de même que sur les tendances récentes dans la concentration totale de glace de mer et les changements prévus dans le niveau de la mer d'ici 2050 (Couture et Manson, 2016). Il est à remarquer que certaines zones très sensibles (p. ex. delta du fleuve Fraser) ne sont pas clairement identifiables à la résolution utilisée ici.

2.2 PROCESSUS CÔTIERS

Aux endroits où la terre et la mer se rencontrent, la configuration détaillée de la zone littorale change constamment. Les vagues de hauts-fonds remanient le fond sur tout le profil de l'avant-plage et de la zone sublittorale. Les vagues qui s'approchent du littoral à l'oblique créent des courants littoraux qui transportent les sédiments le long de la côte et cette dynamique à grande échelle engendre souvent des caractères géographiques rythmiques dont

l'échelles varie. Ces derniers peuvent varier de croissants de plage (dont la longueur d'onde varie de <10 m à >100 m) à une grande variabilité de la largeur de la plage, que caractérise parfois la présence de barres et de crêtes fixées au rivage (dont la longueur d'onde peut atteindre jusqu'à 10 km et plus). Cette reconfiguration progressive du littoral est une réaction naturelle du système à des conditions relativement constantes et n'est pas liée à une tendance induite par le climat agissant sur le niveau de la mer, les vents ou les vagues (encadré 2).

ENCADRÉ 2

REMANIEMENT DES SÉDIMENTS CÔTIERS, HAIDA GWAI

On peut voir un exemple spectaculaire de reconfiguration progressive du littoral sur la côte nord-est de l'île Graham dans l'archipel Haida Gwaii, en Colombie-Britannique. Elle est caractérisée par la présence de renflements répétitifs formés par accrétion (Inman, 1987), que l'on désigne également du nom de « vagues de sable littorales à grande échelle » (Verhagen, 1989; Thevenot et Kraus, 1995), et de barres fixées au rivage connexes, dont la longueur d'onde atteint de 6 à 9 km. Ceux-ci s'impriment sur une côte qui recule (1 à 3 m/an, jusqu'à 15 m ou plus lors d'une seule saison des tempêtes), le sable étant remanié sur la grève, du côté de la mer sur l'avant-plage et le long du bord de la mer (Walker et Barrie, 2006). Les vagues de sable littorales migrent le long du rivage vers le nord-est en raison des vagues et des vents de tempête du sud-ouest dominants dans le détroit d'Hécate (figure 8). La morphologie à structures rythmiques découle de la dynamique à grande échelle et de la rétroaction au niveau de la circulation sur l'avant-plage résultant du forçage par les vagues du sud-est qui s'approchent de la plage à un angle aigu (Ashton et al., 2001). Les vagues de plage emmagasinent une grande quantité de sable et découlent d'une variation côtière systématique dans le taux de transport des sédiments. Les sédiments sont déposés à l'extrémité aval de chaque vague et une zone d'érosion accrue et de réentrainement est créée au début de chaque épisode d'expansion en largeur de la plage. Ainsi, le lac Kumara a été ouvert et partiellement drainé la dernière fois que la zone d'érosion (qui se trouve maintenant à 2 km en aval) est passée à cet endroit (Walker et Barrie, 2006).

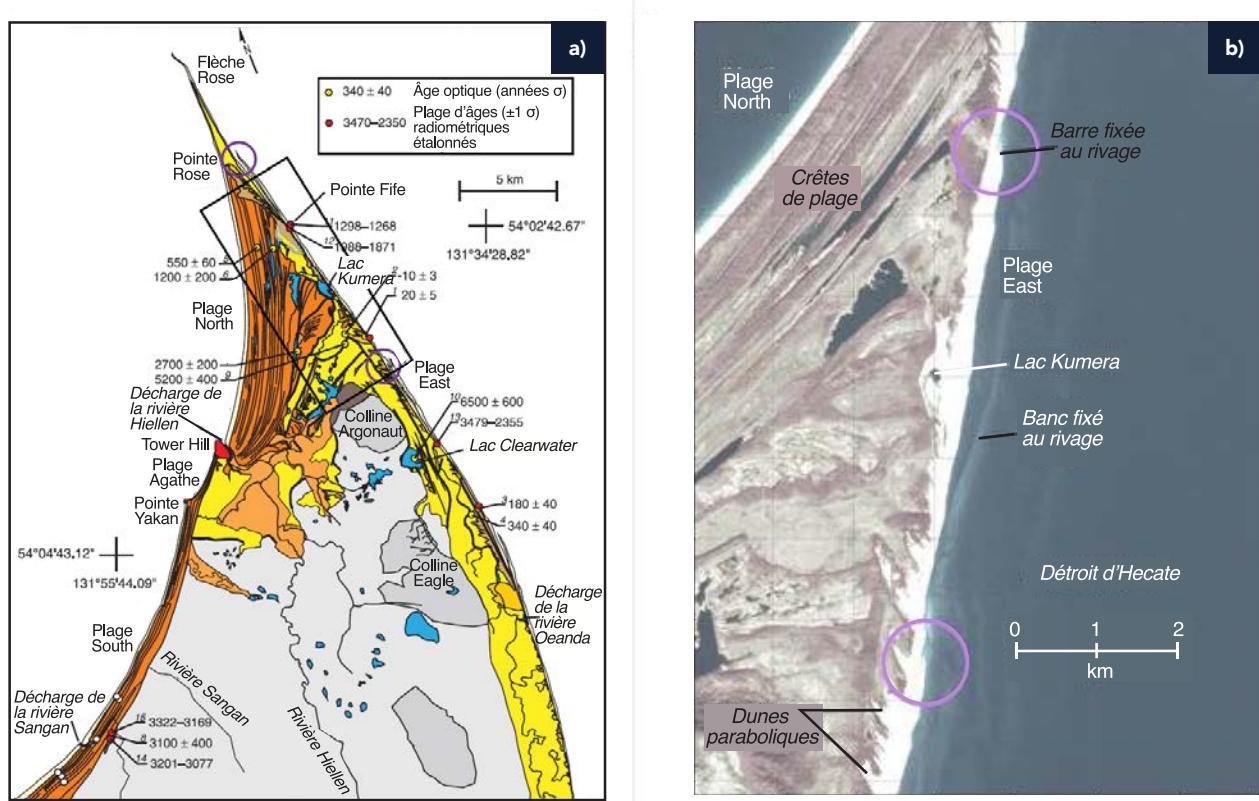


FIGURE 8 : a) Progradation côtière dans le nord-est de l'île Graham dans l'archipel Haida Gwaii, en Colombie-Britannique, au cours des 3 000 dernières années (tiré de la figure 8 de Wolfe et al., 2008). Les cercles mauves indiquent les pointes des vagues de sable littorales qui s'avancent dans l'océan et qui proviennent de l'érosion du rivage oriental. Les dates les plus anciennes ont été relevées plus haut sur la côte, ce qui indique une émergence attribuable à l'ajustement isostatique glaciaire (section 4.2). L'encadré noir montre l'emplacement de l'image de la partie b. b) Vagues de sable à grande échelle avec des barres fixées au rivage se déplaçant vers le nord sur la plage East, caractérisées par la présence de points névralgiques d'érosion aux extrémités distales (cercles mauves). Sont également visibles, de grosses dunes paraboliques alignées parallèlement à la direction des vents dominants du sud-est et de nombreuses crêtes de plage de la plage North; ces dernières témoignent des avancées du rivage depuis 2 000 ans (Wolfe et al., 2008). Source de l'image : imagerie multispectrale et panchromatique Spot-3, 2007, provenant de GéoBase®.

2.2.1 ÉROSION ET RECOL DU RIVAGE

Une idée fausse très répandue veut que la côte ne change que lentement. Même si les côtes de roche dure (comme les roches cristallins du Bouclier canadien ou les côtes de granite de la Nouvelle-Écosse) sont très résistantes à l'érosion et au recul des côtes, les roches sédimentaires sont susceptibles à l'érosion, en particulier dans des régions comme l'Île-du-Prince-Édouard, où le grès tendre est très friable (Forbes *et al.*, 2004), ou le nord du bassin Foxe, au Nunavut, où les roches carbonatées horizontales sont fragmentées par les processus de gel-dégel (Hansom *et al.*, 2014). Le recul des rivages dans certaines parties de la côte de l'Île-du-Prince-Édouard a atteint une moyenne de 0,5 m/an sur plusieurs milliers d'années (Forbes *et al.*, 2004). Des taux extrêmes de recul naturel du rivage (10 à 15 m/an ou plus) ont été mesurés en de nombreux endroits, y compris sur la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse (Forbes *et al.*, 1997; Taylor *et al.*, 2014), sur la côte arctique de la mer de Beaufort (Solomon, 2005; Forbes *et al.*, 2014b) et sur la côte pacifique de l'archipel Haida Gwaii, en Colombie-Britannique (Walker et Barrie, 2006).

Peu de compilations systématiques de données sur l'érosion du rivage de grandes portions de littoral au Canada ont été réalisées (p. ex. Bernatchez et Dubois, 2004; Solomon, 2005; O'Carroll *et al.*, 2006), mais des études locales et des levés multitemporels ont été entrepris à des centaines d'endroits. La Commission géologique du Canada surveille constamment des sites représentatifs depuis de nombreuses années (Taylor *et al.*, 2014). À partir d'une analyse photogrammétrique, Solomon (2005) a publié une compilation

exhaustive couvrant le centre de la côte canadienne de la mer de Beaufort. Lantuit et Pollard (2008) ont documenté les taux de recul du rivage de l'île Herschel, sur la côte du Yukon, et des travaux récents ont permis d'étendre les zones étudiées (Couture *et al.*, 2008; Couture, 2010; Konopczak *et al.*, 2014). Des analyses portant des portions plus petites de côtes ont été publiées, aussi bien pour certaines régions du sud que du nord du Canada (p. ex. Covill *et al.*, 1995; Forbes *et al.*, 1995a, 1997; O'Carroll *et al.*, 2006; Couture *et al.*, 2014). De grandes études de site ont été réalisées sur plusieurs années dans l'estuaire du Saint-Laurent, la Gaspésie et la Basse-Côte-Nord du Québec (Bernatchez et Dubois, 2004). Des analyses complètes du retrait du rivage et de la géomorphologie côtière de l'ensemble de l'Île-du-Prince-Édouard (Davies, 2011; Webster, 2012) ainsi que d'autres parties des Maritimes ont été réalisées. Dans l'Arctique, une synthèse circumpolaire de Lantuit *et al.* (2012) a fourni une analyse générale des taux d'érosion des côtes pour l'ensemble du bassin Arctique, y compris la côte canadienne donnant directement sur l'océan Arctique.

Les données issues de ces activités de surveillance fournissent un niveau de référence permettant d'évaluer l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur l'érosion côtière. Jusqu'à maintenant, les indices de recul accéléré du rivage au cours des dernières décennies sont généralement inexistantes. De par la nature très dynamique de ces côtes, il peut être difficile de différencier les impacts attribuables aux changements climatiques de ceux qui reflètent une variabilité ou une réaction côtière naturelle à d'autres facteurs, y compris les interventions humaines (encadré 3).

ENCADRÉ 3

ATTRIBUTION DU RECOL DU RIVAGE : ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUARD

L'élévation constante du niveau de la mer contribue à la transgression marine (recul du rivage) sur la côte de l'Île-du-Prince-Édouard (Forbes *et al.*, 2004, 2014b; Mathew *et al.*, 2010; Ollerhead *et al.*, 2013). Cela pourrait laisser supposer que les changements observés dans l'aspect de la côte découlent de l'élévation du niveau de la mer et de l'évolution du climat; toutefois, certains changements découlent d'autres événements naturels, comme l'épuisement des sources de sédiments ou sont le résultat d'une intervention humaine (travaux maritimes). Un exemple d'intervention humaine à l'héritage durable est le réalignement des goulets de marées de la baie Rustico, y compris la destruction d'un tronçon de la route côtière (figure 9), que l'on a parfois attribué à tort aux changements climatiques. En fait, ces changements saisissants sont principalement une conséquence de l'expansion, de la division et de la migration des goulets en raison de la fermeture artificielle de l'ancien goulet oriental au cours des années 1950 (figure 10), et les changements dans la circulation et la dynamique des sédiments (Forbes et Solomon, 1999) qui en ont découlé. La fermeture du goulet a déclenché un élargissement et une migration rapides du goulet de North

Rustico, dont le point culminant a été la division de l'estuaire (séparation de l'estuaire de la rivière Hunter du reste de la baie Rustico) et l'ouverture d'un nouveau goulet (Forbes et Solomon, 1999)



FIGURE 9 : Fin de la route sur l'île Rustico, en regardant vers North Rustico, à l'Île-du-Prince-Édouard. Photo gracieuseté de D.L. Forbes, Ressources naturelles Canada, août 1985.

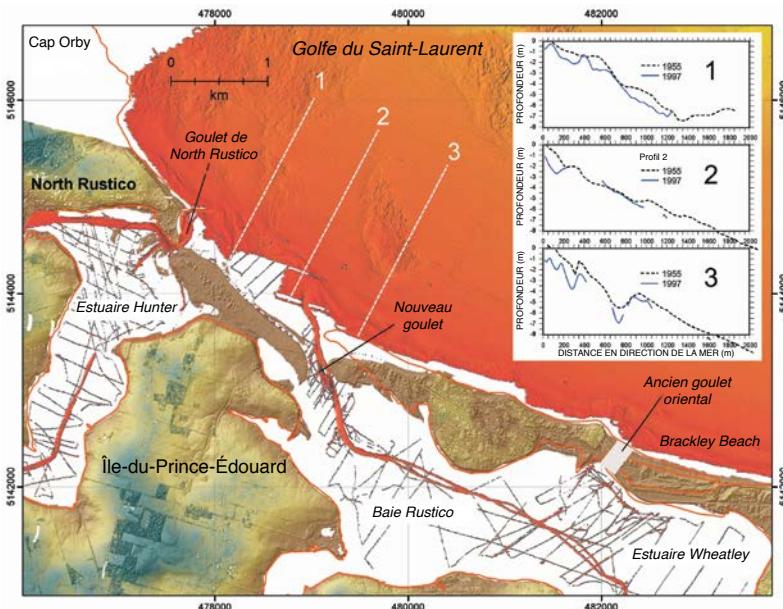


FIGURE 10 : Modèle numérique de surface conçu à partir d'une image au relief ombré en couleur (y compris les bâtiments et les arbres) de la baie Rustico et des environs, à l'Île-du-Prince-Édouard, acquis en 2000 (Webster et al., 2002). Les surfaces rouges présentent la bathymétrie en relief par ombres portées des estuaires et de la plate-forme interne tirée des sondages réalisés au moyen d'échosondes à faisceau unique et multifaisceaux et des levés par système de balayage (extrait modifié tiré de Forbes et al., 1999). Quelques sondages effectués au moyen d'un échosondeur à faisceau unique sont apparents dans les estuaires, qui étaient trop peu profonds pour effectuer des levés multifaisceaux. Les surfaces accidentées sur l'avant-plage sont de la roche en place exposée ou des résidus de déflation sur du till. La ligne rouge représente le vecteur de rivage CanVec. **En médaillon** : Modification des profils d'avant-plage (lignes blanches pointillées dans la figure principale), causée principalement par l'érosion, telle qu'établie à l'aide des sondages de 1955 et des sondages réalisés au moyen d'échosondes multifaisceaux et par système de balayage de 1997.

2.2.2 CONTRÔLE SUR LE RYTHME DES CHANGEMENTS CÔTIERS

Tempêtes – Les tempêtes qui se distinguent par un niveau d'eau accru et une action des vagues plus vigoureuse sont les plus efficaces agents de changement côtiers. Beaucoup de Nord-Américains s'en sont d'ailleurs rendus compte lors de l'ouragan Sandy qui s'est abattu sur New York et les côtes adjacentes du New Jersey et de Long Island à la fin d'octobre 2012. Certaines régions du littoral canadien sont exposées de manière similaire à de violentes tempêtes. Les coûts de ces tempêtes au Canada peuvent se chiffrer en centaines de millions de dollars. L'ouragan Juan a causé pour 100 millions de dollars de dommages et, en Colombie-Britannique, une tempête côtière en juin 2011 a causé pour 85 millions de dollars en dommages (Pinna Sustainability, 2013). Ces valeurs reflètent uniquement les dommages et n'incluent pas les coûts « passifs » associés au temps de travail perdu et au ralentissement de l'activité dans le domaine des ventes. Par exemple, l'activité économique a considérablement ralenti pendant plus d'une semaine à Halifax et dans la majeure partie de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard pendant et après l'ouragan Juan. Une estimation approximative d'une perte d'activité d'une semaine représente une somme supplémentaire de 80 millions de dollars. À Terre-Neuve, on estime que l'ouragan Igor a causé jusqu'à 200 millions de dollars de dommages (voir le chapitre 3). Les tempêtes moins intenses qui se produisent en succession rapide, sans laisser assez de temps entre elles pour rétablir les réserves de sédiments dans les dunes plus petites, peuvent avoir des effets cumulatifs qui déstabilisent également la côte (Forbes et al., 2004). Les effets d'une tempête sur la côte ne dépendent pas uniquement de la puissance de la tempête, mais également du niveau d'eau total (combinaison de la marée, de l'onde de tempête et des vagues), de la présence ou de l'absence de glace de mer, de la direction et du fetch du vent local ainsi que d'un éventail d'autres facteurs.

On compte au nombre des principales tempêtes historiques dans le Canada atlantique le « Yankee Gale » (bourrasque Yankee) du 3 au 5 octobre 1851 (MacDonald, 2010), le « Saxby Gale » (coup de vent de Saxby) du 4 et du 5 octobre 1869 et le « August Gale » (tempête d'août) du 24 août 1873 (Ruffman, 1999). Les principales tempêtes des 100 dernières années sont celles du 2 octobre 1923, du 21 janvier 1961 (la tempête survenue le jour de l'inauguration du président Kennedy), du 21 janvier 2000, du 29 octobre 2000, du 8 novembre 2001, du 27 décembre 2004 et d'autres tempêtes depuis (Parkes et Ketch, 2002; Forbes et al., 2004; Parkes et al., 2006). Beaucoup des tempêtes estivales et automnales étaient des dépressions tropicales ou des événements de transition tropicale, alors que les tempêtes hivernales étaient extratropicales mais suivant un itinéraire semblable vers le nord-est le long du littoral est des États-Unis. Les répercussions de ces tempêtes sur l'environnement physique du littoral ont été saisissantes. Par exemple, Forbes et al. (2004) ont documenté la transformation le long de la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard d'un paysage de dunes hautes en 1765 à un paysage de larges battures en 1880 (possiblement le résultat cumulatif des répercussions des tempêtes de 1869 et de 1873), transformation dont les dunes ne s'étaient pas complètement rétablies avant la tempête de 1923. Mathew et al. (2010) ont décrit l'impact de cet événement ainsi que la croissance et la migration subséquentes vers les côtes de hautes dunes paraboliques. Des effets comparables découlant de tempêtes majeures ont été répertoriés dans de nombreuses régions du pays, y compris la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse (Taylor et al., 2008), Terre-Neuve (Catto et al., 2006), les côtes nord du golfe du Saint-Laurent et de l'estuaire du Saint-Laurent (Bernatchez et Dubois, 2004), la côte de la Colombie-Britannique (Walker et Barrie, 2006; Heathfield et al., 2013) et la mer de Beaufort (Solomon et Covill, 1995).

Glace de mer – La glace de mer peut avoir des effets aussi bien positifs que négatifs sur la stabilité côtière. Même si sa présence peut entraver ou interdire le développement de vagues de surface lors des tempêtes, les vents de tempête peuvent également pousser la glace sur la grève, érodant la surface de la plage et de l'arrière-plage, y compris les dunes, et endommageant l'infrastructure (Forbes et Taylor, 1994; Forbes et al., 2002). Le même mouvement des glaces sur la grève peut déplacer les sédiments sublittoraux vers la terre, alimentant ainsi les plages (Reimnitz et al., 1990). La présence de glace de mer le long des côtes canadiennes varie de considérable dans de nombreuses régions de la côte atlantique (figure 11), et de presqu'absente sur la côte pacifique à presque pérenne dans les chenaux entre les îles du nord-ouest de l'archipel arctique canadien (Forbes et Taylor, 1994). Les changements climatiques récents ont eu des impacts très importants sur l'étendue et la durée de la couverture de glace de mer (GIEC, 2013, section 3).

En hiver, la glace de mer peut être en grande partie immobile (glace de fond ou banquise côtière) ou très mobile en raison du forçage exercé par les marées ou le vent. Dans certaines situations, la glace peut s'échouer et s'empiler sur les barres sublittorales (Forbes et al., 2002, 2014b), protégeant ainsi le rivage contre l'action directe des vagues en cas de tempête en eau libre. Toutefois, si le côté mer du complexe de glace est abrupt, il peut faire fonction d'ouvrage longitudinal naturel et provoquer une réfraction de la houle et de la turbulence susceptibles d'entraîner l'érosion de l'avant-plage intérieure (Bernatchez et Dubois, 2008).

La glace de mer est un des agents principalement responsables de la morphologie des côtes atlantique et arctique. Au cours de la grosse tempête de janvier 2000 dans le Canada atlantique, la seule côte exposée aux vagues dans la partie sud du golfe du Saint-Laurent était l'extrémité est de l'Île-du-Prince-Édouard, puisque toutes les autres côtes de l'île et du continent adjacent étaient protégées par de la glace de mer. Sur la côte sud-ouest de Terre-Neuve, exempte de glace, le fetch dynamique de cette même tempête a produit des vagues extrêmes ayant causé de grands dommages en des endroits s'élevant jusqu'à 18 m au-dessus du niveau moyen de la mer (Catto et al., 2006). Dans le sud du Golfe, les répercussions principales de cette tempête étaient liées à la glace de mer poussée sur la grève, franchissant les dunes et endommageant les bâtiments riverains et l'infrastructure des ports, y compris un phare dans le port de Charlottetown qui a été arraché à ses fondations (Forbes et al., 2004). Les inondations côtières ont aussi été considérables, ce qui a contribué au grand nombre d'impacts attribuables à la glace de mer et à l'établissement de records de niveau d'eau dans certaines parties de l'Île-du-Prince-Édouard et du sud-est du Nouveau-Brunswick. Par contraste, en l'absence de glace de mer, les tempêtes de la fin de l'automne ou du début de l'hiver touchant l'Île-du-Prince-Édouard, en particulier celles dont les vents proviennent du nord-est, peuvent produire de grosses vagues qui nivellent les dunes et repoussent les plages afin d'éroder le till sous-jacent (Forbes et al., 2004, 2014b). Ce dernier phénomène constitue un recul irréversible du substrat côtier.

Dans certaines circonstances, le frasil (cristaux de glace formés dans de l'eau surfondue très agitée) et le frasil aggloméré qui forme de la bouillie de glace peuvent emporter de grandes

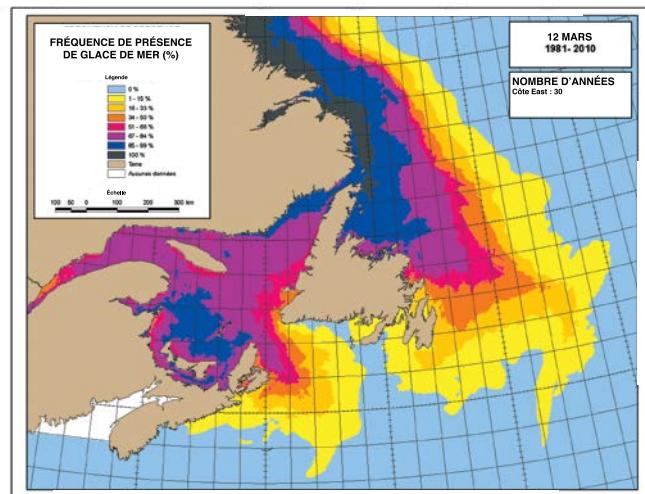


FIGURE 11 : Étendue de la glace de mer dans la région de l'Atlantique. L'ombrage de couleur indique le nombre d'années au cours de la période de 30 ans (1981 à 2010) pendant lesquelles on a noté la présence de glace de mer à cet endroit. On peut constater l'influence du courant du Labrador, qui s'écoule vers le sud, sur le transport de la glace vers le sud à partir du Labrador. Compilation de la figure effectuée par le Service canadien des glaces d'Environnement Canada.

quantités de sédiments de la zone sublittorale, sédiments qui peuvent être transportés au large ou sur de grandes distances le long de la côte (Reimnitz et Maurer, 1979; Forbes et Taylor, 1994). Certains ont avancé que la diminution récente de la glace de plusieurs années et le recul estival de la banquise de la côte ouest de l'Arctique peuvent accroître le transport de sédiments emportés par les glaces (Eicken et al., 2005). Ce processus, conjugué à l'action des courants côté mer à proximité du fond, peut contribuer au recul du rivage en raison de la perte de sédiments qui sont emportés sur la plate-forme interne. Un affouillement direct ou indirect de l'avant-plage est provoqué par les radeaux glaciaux qui s'échouent ou par l'action de la glace qui roule dans les vagues de hauts-fonds.

Pergélisol – Dans les régions nordiques des terrains de pergélisol contenant des sédiments riches en glace, la vulnérabilité des falaises côtières à l'érosion est assujetti aux conditions régissant le sol gelé (Kobayashi et al., 1999) et est donc susceptible au réchauffement de la température de l'air, de la mer et du sol (Overeem et al., 2011; Barnhart et al., 2014a). L'érosion de ces côtes se produit de nombreuses manières, entre autres par encrassement et par décollement de la couche active, par sapement profond et effondrement de blocs qui délimitent des polygones de toundra (figure 12a; Hoque et Pollard, 2009) et par décrochement dû à la fonte régressive dans les sols à forte teneur en glace de sol (figure 12b; Lantuit et Pollard, 2008, Forbes et al., 2014b). Malgré le rôle important que jouent les processus d'abrasion thermique et de thermokarst sur les côtes prises dans les glaces, le facteur prédominant responsable du recul du rivage dans la plupart des endroits n'en demeurent pas moins les tempêtes qui, lorsqu'elles se produisent en temps d'eau libre avec des vagues bien développées, peuvent entraîner une érosion et un sapement rapides (Overeem et al., 2011; Barnhart et al., 2014a).



a)



b)

FIGURE 12 : Érosion des côtes de pergélisol dans l'ouest de l'Arctique canadien : a) une profonde niche créée par érosion thermique sapant une falaise dans du sable lié par la glace et l'effondrement de blocs connexes suivant une grosse tempête, île de Tuktoyaktuk, Territoires du Nord-Ouest (photo gracieuseté de S.M. Solomon, Ressources naturelles Canada, août 2000) et b) amphithéâtres résultant de décrochements dus à la fonte régressive qui se sont produits dans des dépôts riches en glace à King Point, au Yukon (limite du lagon à gauche). La présence de glace massive (indiquée par la flèche blanche) est à remarquer dans la partie inférieure du mur de rimaye principal, qui a une hauteur d'environ 5 m (photo gracieuseté de D.L. Forbes, Ressources naturelles Canada, juillet 1992).

3 ÉVOLUTION DU CLIMAT

3.1 MOTEURS DU CHANGEMENT

La civilisation a évolué au cours des 10 000 dernières années, pendant l'ère la plus stable sur le plan climatique du dernier million d'années (p. ex. Rockström *et al.*, 2009). Le développement de sociétés complexes au Moyen-Orient et dans les Amériques semble avoir suivi de près la stabilisation du niveau de la mer depuis les derniers 7 000 ans (Day *et al.*, 2012). Cette stabilité relative du climat et du niveau de la mer est en train de changer. Ainsi qu'en font état les rapports d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 1990, 1992, 1995, 2001, 2007, 2013) et une grande quantité d'autres ouvrages scientifiques ayant été rédigés au cours des trois dernières décennies, les activités humaines ont entraîné des changements

fondamentaux dans la chimie de l'atmosphère, ce qui a des répercussions majeures au niveau du système climatique de la Terre et de l'habitat humain. En fait, le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC, 2013, p. 2) conclut que :

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque, et depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis des décennies voire des millénaires. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau de la mer s'est élevé et les concentrations de gaz à effet de serre ont augmenté.

Le système climatique (y compris l'atmosphère, les océans et la surface terrestre) existe en état d'équilibre thermique, ce qui signifie que l'énergie qui y entre est à peu près égale à l'énergie qui en sort. Modifier cet équilibre — même légèrement — entraîne un réchauffement ou un refroidissement de la Terre. Cet équilibre est la somme de plusieurs facteurs du forçage du climat agissant aussi bien à l'extérieur de l'atmosphère qu'à l'intérieur du système Terre-atmosphère. Les agents de forçage à l'extérieur de l'atmosphère sont associés à des paramètres astronomiques et consistent principalement en des variations périodiques de l'orbite de la Terre, qui provoquent des variations régulières dans la quantité et la répartition de radiations solaires que la Terre reçoit, et ce sur des périodes de dizaines de milliers d'années. Appelées cycles de Milankovitch, ces variations de l'excentricité, de l'inclinaison de l'axe et de la précession de l'orbite sont généralement reconnus comme étant les premiers déclencheurs des principales périodes glaciaires (Hays *et al.*, 1976).

Les agents de forçage à l'intérieur du système Terre-atmosphère comprennent les changements à la composition chimique de l'atmosphère et les changements à la surface de la Terre, en particulier sa réflectivité. Les gaz à effet de serre dans l'atmosphère captent l'énergie thermique (chaleur), ce qui entraîne la conservation dans l'atmosphère d'une partie de l'énergie qui se serait par ailleurs échappée dans l'espace par rayonnement. Même si la vapeur d'eau est le gaz à effet de serre le plus efficace, le dioxyde de carbone, le méthane et d'autres gaz s'avèrent les principaux sujets de discussions sur les changements climatiques en raison du fait que l'activité humaine peut modifier l'abondance de ces gaz dans l'atmosphère. Leur effet sur l'équilibre du bilan radiatif thermique de l'atmosphère (forçage radiatif) est suffisamment important pour que même des augmentations relativement légères de leur concentration aient une incidence perceptible sur le système climatique. Les nouveaux scénarios de changements climatiques présentés dans le plus récent rapport d'évaluation du GIEC et servant à mettre au point les prévisions de l'élévation du niveau de la mer pour le Canada présentées dans ce rapport (section 4) sont fondés sur les changements du forçage radiatif net (encadré 4).

ENCADRÉ 4

PRÉVISIONS DE LA COMPOSITION ATMOSPHÉRIQUE SELON LE GIEC

(Source : Cubasch *et al.*, 2013; p. 147–150 « Description of future scenarios » - Cinquième rapport d'évaluation du GIEC)

L'état du climat futur dépend en très grande partie des gens et de leurs actes (p. ex. croissance de la population, progrès et utilisation de la technologie, consommation de combustibles fossiles, agriculture, déforestation et autres activités d'utilisation des terres). Les premiers efforts de prévision des changements climatiques futurs du GIEC mettaient l'accent sur la quantité de composés de carbone émis par l'activité humaine. Des experts en sociologie et en économie ont préparé des présomptions et des scénarios de tendances et de schémas futurs d'activité humaine, qui ont été traduits en scénarios d'émission de carbone et fournis aux modélisateurs du système climatique. Ce processus, décrit dans le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (SRES; GIEC, 2000), a donné naissance à ce que l'on appelle les scénarios d'émissions SRES.

Lorsqu'il s'est agi de préparer le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC une toute autre approche a été adoptée (GIEC, 2013). Les récentes recherches examinées par les pairs ont permis de mieux comprendre l'éventail des futurs scénarios d'émissions probables. À partir de l'éventail complet des scénarios d'émissions possibles, on a élaboré un sous-ensemble de quatre voies de concentration du carbone, appelées Representative Concentration Pathways (RCP— profils représentatifs d'évolution de concentration). Les RCP ne sont pas directement fondées sur des facteurs socioéconomiques changeants, mais précisent simplement les concentrations et les niveaux d'émissions qui y correspondent. Les scénarios de changements climatiques qui y sont associés traitent des gaz éphémères et des changements d'utilisation des terres de manière plus directe que ne le faisaient les scénarios d'émissions SRES. Ils distinguent une trajectoire d'émissions faibles, deux trajectoires d'émissions moyennes et une trajectoire d'émissions élevées. Le numéro dans le nom de chaque scénario correspond au *forçage radiatif net*, concept qui représente la différence entre la quantité d'énergie rayonnante qui entre dans l'atmosphère de la Terre et la quantité qui est renvoyée dans l'espace par rayonnement, exprimée en watts par mètre carré (W/m^2) pour l'an 2100. Le scénario à émissions les plus élevées, appelé RCP8.5, prévoit une concentration atmosphérique de dioxyde de carbone de 1000 ppm d'ici l'an 2100 (figure 13), avec un surplus de forçage radiatif connexe de $8,5 W/m^2$. À titre de référence, le surplus de forçage radiatif associé à la concentration atmosphérique actuelle de dioxyde de carbone est d'environ $2 W/m^2$ et on observe déjà des changements dans le système climatique. La *constante solaire*, soit la quantité de rayonnement solaire qui atteint la limite supérieure de l'atmosphère, est d'environ $1365 W/m^2$. Par conséquent, un changement du forçage radiatif de moins d'un pourcent est suffisant pour déclencher une réaction majeure au niveau de l'état thermique de l'atmosphère.

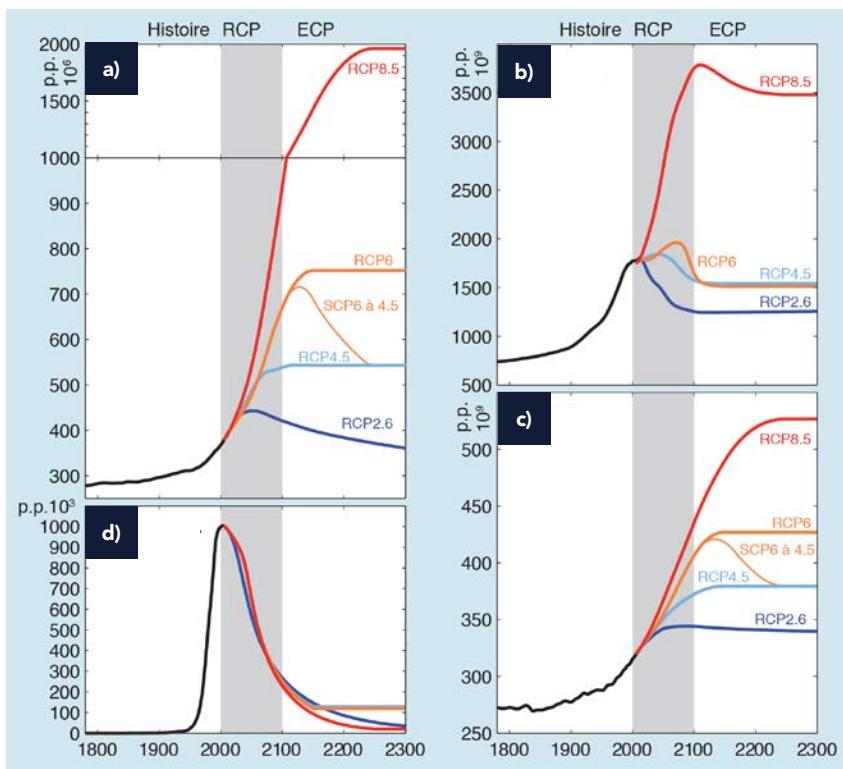


FIGURE 13 : Concentrations de gaz à effet de serre : **a)** dioxyde de carbone, **b)** méthane, **c)** oxyde d'azote et **d)** chlorurofluorocarbone, déterminées à l'aide des quatre RCP et leurs extensions (ECP) jusqu'à 2300 (tiré de Cubasch *et al.*, 2013, encadré 1.1, figure 2).

Un autre facteur de forçage important à l'intérieur du système Terre-atmosphère concerne les altérations à la surface de la Terre. Ces altérations comprennent les changements dans l'utilisation des terres et dans la couverture des terres qui découlent d'activités humaines comme l'agriculture, l'urbanisation, la déforestation, la désertification et le drainage ou la création de zones de terres humides (p. ex. Pielke et al., 2011; Mahmood et al., 2014). Les altérations peuvent également inclure des changements dans la couverture de neige et de glace terrestre ou marine que peut directement susciter le réchauffement climatique (p. ex. Flanner et al., 2011). Ensemble, ces changements modifient le degré de réflectivité de la surface de la Terre (l'albedo), la quantité de chaleur qui peut être emmagasinée et la quantité de carbone qui peut être stockée. Par exemple, la réflectivité du sol est fortement modifiée lorsque ce dernier passe d'une surface couverte de neige à une surface exempte de neige. La croissance des villes aux dépens des zones de végétation augmente la quantité d'énergie qui est libérée dans l'atmosphère sous forme de chaleur plutôt qu'être stockée par l'évaporation de l'eau. Les forêts et les sols gelés en permanence emmagasinent de grandes quantités de carbone; à mesure que leur taille diminue, le carbone qu'ils emmagasinent se voit rejeté dans l'atmosphère. La révolution industrielle, qui a commencé il y a environ 250 ans et a entraîné une augmentation rapide de la combustion du charbon, a déclenché une accélération du taux d'émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Avant la révolution industrielle, les modifications apportées à l'utilisation des terres associées à des activités agricoles qui ont eu lieu pendant des milliers d'années peuvent avoir déclenché des changements dans la chimie de l'atmosphère (Ruddiman et al., 2014), ce qui illustre bien la

capacité des changements survenant dans l'utilisation et la couverture des terres de modifier l'atmosphère.

La présente section met principalement l'accent sur la composante atmosphérique du système climatique du point de vue de son influence sur les processus côtiers, y compris le climat des vagues. Pour obtenir un aperçu des tendances et des changements prévus dans le climat océanique pour le Canada, les lecteurs sont renvoyés à Bush et al. (2014). Les changements dans le climat océanique, l'acidification des océans et les impacts connexes sont également abordés dans les chapitres régionaux du présent rapport (voir les chapitres 4 à 6).

3.2 VARIABILITÉ ET CHANGEMENT CLIMATIQUES

Le climat et le temps sont intrinsèquement variables. Les latitudes plus élevées font davantage preuve de variabilité que les tropiques. La variabilité du climat est à court terme et n'est pas nécessairement liée aux changements climatiques, bien qu'il existe des liens établis entre les deux (p. ex. le réchauffement climatique dans les latitudes élevées peut accroître la variabilité du climat; Francis et Vavrus, 2012). La variabilité du climat comporte également des liens spatiaux (téléconnexions) en fonction desquels un changement dans le système climatique à un endroit donné provoque une réaction climatique à un autre endroit situé à une certaine distance de la source du changement original. Les meilleurs exemples de téléconnexions sont les changements régionalisés et réguliers dans le système Terre-océans qui se répètent en cycles se mesurant en années et en décennies (encadré 5).

ENCADRÉ 5

VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET TÉLÉCONNEXIONS ATMOSPHÉRIQUES

L'atmosphère, la cryosphère (neige, glaciers, glace de mer, fluviale et lacustre et pergélisol), les océans et les terres de la planète sont interconnectées de manière interne par l'échange de chaleur, d'eau douce, d'énergie et de gaz. La cryosphère et les océans, en particulier, peuvent stocker de grandes quantités de chaleur et d'eau douce. Des déplacements de grandes quantités de chaleur au sein du système peuvent se produire épisodiquement et susciter une forte rétroaction, ce qui entraîne des variations naturelles ou « oscillations » et que l'on désigne parfois le terme « variabilité interne du climat ». Ces oscillations se manifestent sous la forme de schémas de température de la surface de l'océan et de pression atmosphérique qui varient en fonction d'un cycle plus ou moins régulier. Deux oscillations principales, l'oscillation australe El Niño (ENSO) et l'oscillation nord-atlantique (NAO), sont connues depuis des siècles, et depuis les années 1980, les chercheurs s'intéressant au climat en ont cerné plusieurs autres. Ces oscillations peuvent durer quelques mois, voire des décennies, et tendent à être restreintes à des zones assez précises, généralement situées au-dessus des océans. L'oscillation de l'Arctique dans les schémas de pression atmosphérique et l'oscillation décennale du Pacifique et l'oscillation atlantique multidécennale dans la température de la surface de l'océan constituent d'autres exemples importants pour le Canada.

La plus connue des téléconnexions touchant le Canada est l'ENSO. El Niño est un changement périodique dans la température de la surface de la mer qui se produit dans le Pacifique Sud sous les tropiques, résultant de l'affaiblissement des alizés soufflant vers l'ouest qui permet à l'eau chaude habituellement poussée vers l'ouest de glisser à nouveau vers le côté est du Pacifique. Cela réchauffe les eaux au large du Pérou et du nord du Chili et refroidit les eaux de l'ouest du Pacifique. Les changements dans la température de la surface de l'eau modifient à leur tour la température atmosphérique et les schémas de pression atmosphérique, ce qui a une incidence sur les vents et les tempêtes. En ce qui a trait au Canada, une ENSO positive (El Niño) signifie des températures plus élevées dans tout le pays alors qu'une ENSO négative (La Niña) apporte des températures plus froides, généralement plus prononcées en hiver (Shabbar et Khandekar, 1996). Pendant une phase La Niña, par exemple, la côte du sud-ouest de la Colombie-Britannique connaît des hivers plus froids (Abeyasinghe et al., 2009). Les téléconnexions peuvent également altérer les précipitations : une ENSO positive augmente le potentiel d'événements de précipitations extrêmes sur les côtes de la Colombie-Britannique et de l'est des Maritimes, mais réduit ce potentiel dans le centre de la Colombie-Britannique, en Alberta et dans le nord de l'Ontario (Zhang et al., 2001; Wang et al., 2006). Etkin et al. (2001) ont établi un lien entre l'ENSO et les épisodes de tornades dans les Prairies et le sud de l'Ontario (activité légèrement accrue pendant une ENSO positive et inhibée pendant une ENSO négative).

Les événements météorologiques qui retiennent l'attention, comme l'ouragan Juan (en 2003) ou l'ouragan Sandy (en 2012), soulèvent la question de savoir si l'événement est un produit des changements climatiques. Il n'existe aucun moyen de lier de manière irréfutable un événement donné aux changements climatiques. Toutefois, l'adoption d'une approche probabiliste des questions d'attribution établit un lien avec les changements climatiques du moment que l'enveloppe de probabilité est modifiée. Cette modification peut se manifester sous trois formes : la « moyenne déplacée » est un déplacement vers davantage d'extrêmes à une des extrémités (p. ex. plus de journées chaudes), la « variabilité accrue » est un déplacement vers une augmentation de la fréquence des extrêmes de tout type, et la « symétrie modifiée » est une modification dans le modèle de la répartition (p. ex. davantage de jours frais mais pas extrêmes; GIEC, 2012). Par exemple, une augmentation de la température de la surface de la mer alimentée par les changements climatiques réunit les conditions propices à une augmentation de la fréquence de formation de cyclones tropicaux (ouragans). Ainsi, même si on ne peut pas lier directement les changements climatiques à une tempête particulière susceptible de s'abattre sur le Canada atlantique, on peut conclure qu'il y a une possibilité accrue de formation d'ouragan en raison de l'augmentation de la température de la surface de la mer, qui elle est liée aux changements climatiques.

3.3 FACTEURS DÉTERMINANTS DU CLIMAT

Le régime de température du Canada est dominé par les changements saisonniers dans l'intensité des rayonnements. Les grandes plages de température qui accompagnent cette progression annuelle des rayonnements se remarquent particulièrement dans les endroits situés à l'intérieur des terres. Plus près de la côte, la forte influence modératrice des océans réduit la plage des

températures subies. La saisonnalité est plus importante sur la côte de l'Atlantique (région de la côte Est) que sur la côte du Pacifique (région de la côte Ouest) au Canada. Ces différences sont attribuables à la circulation principalement ouest-est des masses d'air. La température des eaux de surface du Pacifique varie peu au cours de l'année (figure 14) et la présence de masses d'air maritimes du Pacifique à température relativement constante prédomine dans la région de la côte Ouest. Les masses d'air circulant au-dessus de la côte de l'Atlantique, au contraire, proviennent principalement du continent. Cela entraîne des températures estivales plus chaudes et des températures hivernales plus froides. La température de la surface de la mer dans l'est est également fortement influencée par le courant du Labrador, un courant froid qui descend le long de la côte du Labrador, contourne Terre-Neuve et continue sa progression le long de la côte atlantique faisant face au sud-est de la Nouvelle-Écosse. La combinaison de ces deux facteurs fait que la région de la côte Est au sud du Labrador jouit d'une plage annuelle de températures de la surface de la mer relativement étendue (figure 14).

Les stations côtières nordiques présentent une plage saisonnière plus étendue que celles observées le long des côtes du Pacifique et de l'Atlantique, de même que des températures beaucoup plus froides. Les côtes de l'Arctique sont généralement situées au nord du courant-jet et des masses d'air froid ont tendance à y stagner pendant l'hiver. Le froid hivernal peut être ponctué d'événements épisodiques d'advection d'air chaud du sud qui peuvent apporter des précipitations verglaçantes, du brouillard et des conditions de fonte, soit des conditions météorologiques toutes susceptibles de poser des problèmes aux collectivités nordiques. Ces événements se produisent de plus en plus fréquemment (Wang, 2006) alors que le courant-jet semble montrer une plus grande variabilité (Francis et Vavrus, 2012).

Le schéma des précipitations est contrôlé par la circulation

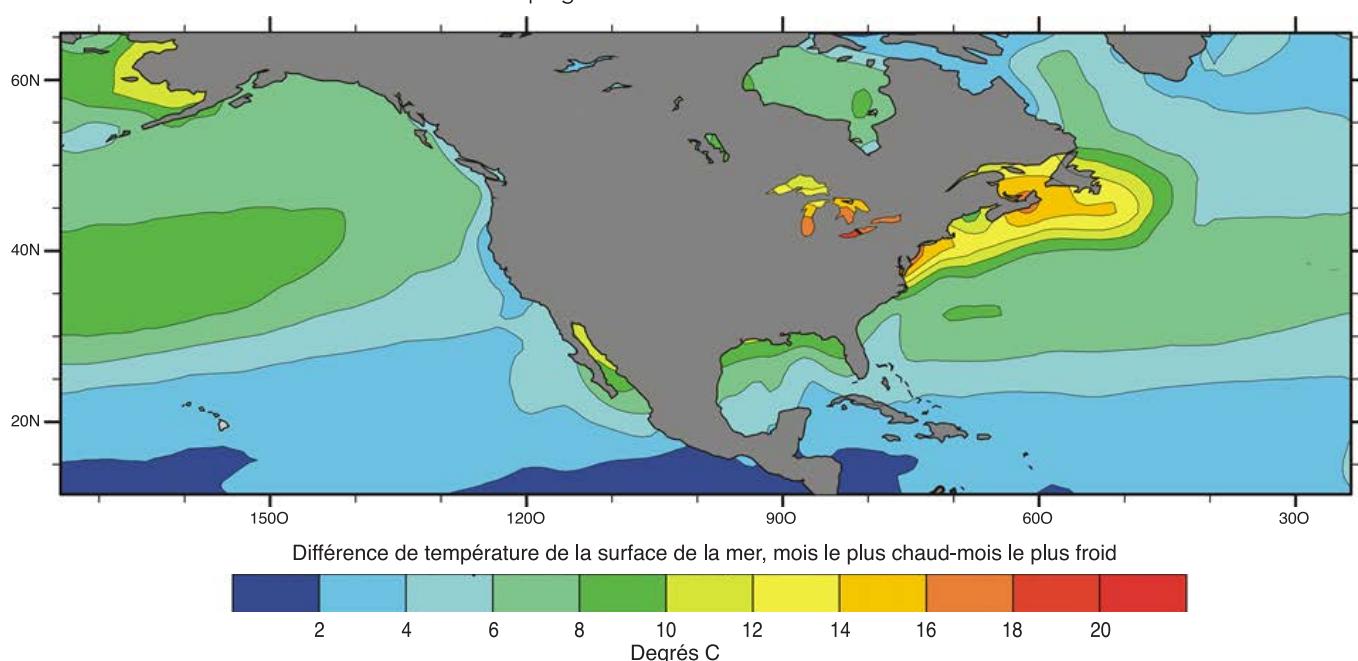


FIGURE 14 : Représentation graphique de la différence de température de la surface de la mer entre le mois le plus chaud en moyenne et le mois le plus froid en moyenne. L'amplitude beaucoup plus grande de la plage au large de la côte Est de l'Amérique du Nord est à remarquer (figure tracée à partir de données tirées de Reynolds et Smith, 1995).

atmosphérique dominante, la trajectoire des tempêtes et la topographie régionale. La circulation vers l'ouest qui apporte des températures modérées à la région de la côte Ouest entraîne également l'air humide du Pacifique et le précipite contre la topographie abrupte de la Cordillère nord-américaine, ce qui se traduit par les plus importantes précipitations totales au Canada ($> 4\,000$ mm par an à certains endroits) et de grandes courbes de précipitations. Par exemple, le côté sud-ouest de l'île de Vancouver peut recevoir plus de 3 000 mm de précipitations par année, alors qu'à moins de 100 km de là, à Victoria, le total annuel moyen se chiffre aux environs de 400 mm. La plupart des précipitations se produisent pendant la période automne-hiver-printemps. La « rivière atmosphérique » est un phénomène unique à la côte du Pacifique — il s'agit d'une structure filiforme qui extrait de l'humidité du bassin d'humidité atmosphérique tropical et la dirige vers la côte ouest nord-américaine. Les rivières atmosphériques amènent des pluies fortes et persistantes et, dans plusieurs régions, elles s'avèrent des phénomènes météorologiques extrêmes (Ralph et Dettinger, 2012). Une inondation majeure le long de la côte du centre de la Colombie-Britannique en septembre 2010 a été provoquée par une rivière atmosphérique (Pinna Sustainability, 2013).

Dans la région de la côte Est, les précipitations sont en grande partie contrôlées par les tempêtes qui remontent le littoral est ou qui traversent le continent. La moyenne des précipitations totales annuelles vari généralement de valeurs plus faibles, soit de 800 mm dans l'est du Québec et le sud du Labrador, qui augmentent vers l'est, allant jusqu'à atteindre des valeurs supérieures à 1 600 mm dans certaines parties du nord de la Nouvelle-Écosse (cap Breton) et dans le sud de Terre-Neuve (Ressources naturelles Canada, 2007). Dans l'Est, la majorité des précipitations totales annuelles se produisent en hiver (100 à 150 mm par mois), les mois d'été recevant entre la moitié et les deux tiers environ des totaux mensuels hivernaux.

L'ouest et le nord de l'Arctique reçoivent moins de 300 mm de précipitations par année. La région connaît moins de tempêtes que l'est de l'Arctique et reçoit beaucoup moins d'humidité en raison de la couverture annuelle de glace de mer, dont la présence limite l'évaporation des océans. L'est de l'Arctique (île de Baffin, nord du Québec et Labrador) subit des incursions plus fréquentes de tempêtes provenant de la mer du Labrador et le détroit de Davis en direction de la baie de Baffin. En conséquence, la région reçoit également plus de précipitations, soit un total d'environ 1 000 mm par an dans des secteurs locaux comme la côte sud-est de l'île de Baffin.

3.4 TENDANCES ET PRÉVISIONS

Les tendances historiques et les prévisions de température et de précipitations pour l'ensemble du Canada, telles que résumées par Bush *et al.* (2014), servent de contexte à la discussion qui suit sur les changements observés et prévus du climat en milieu côtier.

3.4.1 TENDANCES

Alors que les données sur la température et les précipitations pour les régions de la côte Est et de la côte Ouest du Canada remontent à plus de 100 ans dans le passé, les relevés instrumen-

taux historiques pour la plus grande partie de l'Arctique ne remontent que jusqu'à 1950 environ. Vincent *et al.* (2012) ont fourni des renseignements détaillés sur l'analyse des tendances pour l'ensemble du Canada. Dans les régions côtières, les températures quotidiennes minimales et maximales des régions de la côte Est et de la côte Ouest présentent une tendance à la hausse pour la période de 1900 à 2010, les températures minimales montrant un réchauffement plus important que les températures maximales (figure 15). Les données disponibles pour les régions de la côte Nord ne sont pas suffisantes pour déterminer les tendances à long terme.

Pour une période récente de 50 ans (1950 à 2003), les températures quotidiennes maximales font preuve d'une tendance à la hausse faible à modérée sur la côte du Pacifique peu importe les saisons (pas de hausse statistiquement significative en automne). Ce modèle se répète sur la côte de l'Atlantique, même si la hausse n'est statistiquement significative qu'en été. L'Arctique se caractérise par une forte tendance au réchauffement dans les régions de l'ouest et du centre-sud en hiver, alors qu'elle n'est pas statistiquement significative dans l'est. La tendance automnale est modérée mais significative dans l'ensemble de l'est et du centre-nord. En été et au printemps, certaines régions font preuve d'une tendance plus marquée (Vincent *et al.*, 2012). Wang *et al.* (2014b) ont extrait des renseignements sur la fréquence des températures extrêmement élevées et basses (période de récurrence de 20 ans) enregistrée par les stations météorologiques établies partout au Canada. Ils ont calculé puis comparé la moyenne des températures pour les décennies 2010 et 1960. Les résultats indiquent une faible augmentation (+2 °C) ou aucune différence dans les stations des trois côtes. Les groupements les plus homogènes correspondent à des augmentations des températures minimales et maximales pour la région du centre de la Nouvelle-Écosse.

Les tendances dans les précipitations annuelles pour la période de 1950 à 2003 (Vincent et Mekis, 2006; Mekis et Vincent, 2011) témoignent d'importantes augmentations notées dans la plupart des stations des trois régions côtières. Le rapport neige-pluie a diminué (c.-à-d. plus de précipitations sous forme de pluie) presque partout sur les côtes du Pacifique et de l'Atlantique, alors que ce rapport a augmenté dans le Nord.

Les indices offrent une autre mesure pouvant servir à l'étude des changements au niveau des températures et des précipitations. L'analyse par Vincent et Mekis (2006) d'une série d'indices

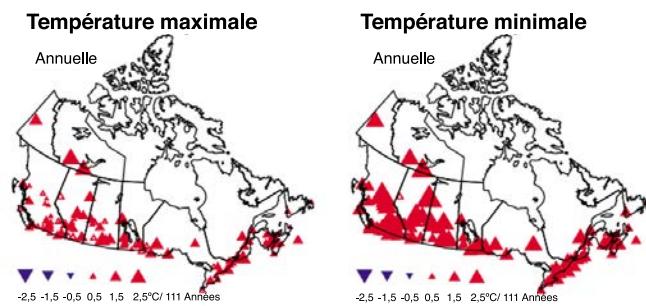


FIGURE 15 : Tendances dans la moyenne annuelle de la température maximale et minimale quotidienne pour le Canada, de 1900 à 2000 (Vincent *et al.*, 2012).

tels, par exemple, le nombre de jours de gel et le rapport neige-pluie, révèle entre autres que pendant la période de 1950 à 2003, la côte du Pacifique fait preuve d'une diminution de la fréquence des jours froids et des nuits froides et une augmentation de la fréquence des nuits chaudes. On remarque également de légères tendances dans le nombre de jours consécutifs sans précipitations, en particulier dans la zone des Maritimes de la région de la côte Est. Les tendances dans les fortes précipitations (> 10 mm) et les jours très humides ($> 95^{\circ}$ centile) ne sont marquées que dans certaines stations de Terre-Neuve et des Maritimes et dans une station de la Gaspé. De même, une analyse de Zhang et al. (2001) mettant l'accent sur les événements de fortes précipitations a révélé peu de tendances à long terme, même si certains indices semblent indiquer une augmentation de la fréquence des fortes chutes de neige. Il est à remarquer qu'il s'agit d'une étude réalisée il y a 15 ans, soit une période assez longue pour que des changements dans les tendances observées se soient produits.

3.4.2 PRÉVISIONS

Les prévisions mondiales des changements dans la température de l'air à la surface (2 m) pour la période s'étendant jusqu'à 2035¹, présentées dans GIEC (2013), indiquent qu'une augmentation moyenne de $< 1^{\circ}$ C est prévue pour l'hiver (décembre, janvier, février) aussi bien que pour l'été (juin, juillet, août) sur la côte du Pacifique. La côte de l'Atlantique fait preuve elle aussi d'une légère augmentation en été et d'une augmentation un peu plus importante ($1,0$ à $1,5^{\circ}$ C) en hiver. On prévoit que le Nord continuera de connaître des changements prononcés, dont une augmentation de la température de l'air hivernale dans les régions côtières pouvant atteindre jusqu'à 3° C à plusieurs endroits. Les augmentations prévues de la température estivale sont de l'ordre de $1,0$ à $1,5^{\circ}$ C.

Une étude plus détaillée pour l'Amérique du Nord réalisée par Šeparović et al. (2013) a employé un modèle climatique régional à haute résolution emboîté dans les extrants du modèle mondial pour la période de 2071 à 2100. La plupart des modèles laissent entrevoir des augmentations de la température de 2 à 3° C pour la côte du Pacifique aussi bien que la côte de l'Atlantique pendant cette période. Des augmentations semblables sont prévues pour l'Arctique en été; toutefois, tous les modèles affichent une augmentation beaucoup plus importante de la température hivernale en Arctique, variant de 6 à 14° C. Une analyse de Feng et al. (2012) axée sur l'Arctique est arrivée à des conclusions semblables, faisant état d'augmentations prévues de la température estivale (1 à 3° C pour les régions côtières du nord du Canada) et d'augmentations hivernales prévues de 8 à 10° C pour la période de 2080 à 2099.

En ce qui concerne les précipitations, l'analyse de Šeparović et al. (2013) pour la période de 2071 à 2100 font état d'une augmentation de 10 à 20% des précipitations hivernales pour les côtes de l'Atlantique et du Pacifique. Le Nord affiche des augmentations potentielles beaucoup plus importantes, en particulier dans l'est de l'Arctique où l'on prévoit des augmentations pouvant atteindre 80% . Pour la période estivale, plusieurs modèles semblent indiquer des réductions de jusqu'à 20% des précipitations sur la côte du Pacifique. Aucune tendance particulière n'est indiquée pour la côte

de l'Atlantique, mais des augmentations pouvant atteindre 20% sont indiquées dans de nombreuses régions de l'Arctique.

Puisqu'un grand nombre d'impacts météorologiques au Canada sont le produit de conditions météorologiques extrêmes (p. ex. Warren et Lemmen, 2014), il est important de comprendre les changements prévus en matière de phénomènes extrêmes. Casati et de Elia (2014) ont examiné les valeurs prévues de température extrême (valeurs minimales et maximales saisonnières et annuelles) en vue de déceler les changements dans la valeur ou la fréquence des extrêmes. Leurs résultats révèlent des augmentations dans la valeur des extrêmes de température, mais pas nécessairement une augmentation de leur fréquence. Les changements prévus aux événements de rivières atmosphériques touchant la côte pacifique des États-Unis ont été analysés par Dettinger (2011), qui en a tiré des conclusions pertinentes pour la région de la côte Ouest du Canada. Dans le cadre d'un scénario à émissions élevées, d'importants changements ont été décelés dans les valeurs extrêmes associées aux rivières atmosphériques. Le nombre d'années dotés d'événements de rivières atmosphériques multiples a augmenté, de même que les taux de transport de la vapeur d'eau et les tempêtes qui y sont associées. En outre, l'analyse a révélé que la durée de la saison au cours de laquelle la plupart des rivières atmosphériques se produisent devrait augmenter.

3.5 TEMPÈTES ET GLACE DE MER

3.5.1 TEMPÈTES

Le Canada et ses régions côtières subissent un vaste éventail non seulement de types de tempêtes mais aussi de répercussions de ces dernières (Stewart et al., 1995). L'importance des vents forts se fait tout particulièrement sentir dans les régions côtières, puisque ce sont eux qui créent des vagues destructrices et des ondes de tempête. Les tempêtes éloignées peuvent pousser de la houle à plus longue période dans le milieu côtier, ce qui présente un plus grand danger pour la circulation maritime. Les précipitations associées aux tempêtes peuvent également poser des problèmes. Dans le Nord, l'impact d'une tempête est déterminé par l'étendue et la mobilité de la glace de mer.

Les tempêtes dans la région du Pacifique sont généralement constituées de cyclones extratropicaux occlus qui se sont formés au-dessus du milieu ou de l'ouest du Pacifique et qui ont été poussés par le courant-jet dans la région côtière de la Colombie-Britannique. Cette région ne connaît pas de cyclones tropicaux (typhons ou ouragans), et même dans les scénarios de changements climatiques extrêmes, on prévoit que les vastes régimes de circulation du Pacifique nord maintiendront des températures de la surface de la mer trop froides pour permettre à l'activité de cyclone tropical de se manifester au large du littoral ouest de l'Amérique du Nord. Il y a des passages de zone frontale sur la côte du Pacifique, mais ils sont relativement diffus par comparaison avec les passages de zone frontale dans le centre ou dans l'est du Canada. Toutefois, les zones frontales dans la région de la côte Ouest sont importantes puisqu'elles génèrent des systèmes de tempête secondaires. Une trajectoire

¹ Les valeurs sont les moyennes pour la période de 2016 à 2035. Il est à remarquer que les prévisions pour cette période à court terme sont pratiquement les mêmes dans tous les scénarios de changements climatiques.

de tempête typique voit un système primaire se déplacer vers le nord dans le golfe de l'Alaska et s'y immobiliser, phénomène qui apporte beaucoup d'humidité à la côte du nord de la Colombie-Britannique. Dans certains cas, un système secondaire se forme à la confluence des fronts chaud et froid et contourne le système primaire vers le sud; ce système secondaire peut apporter des grands vents et de fortes précipitations à l'île de Vancouver et sur la côte du sud de la Colombie-Britannique.

L'été est une période relativement exempte de tempêtes sur la côte du Pacifique, puisque le courant-jet tend à produire une crête de haute pression au-dessus de la Colombie-Britannique, ce qui se traduit par du beau temps pour la majeure partie du sud de la côte de la Colombie-Britannique en été. En se déplaçant vers le nord, ces conditions météorologiques sont généralement maintenues, bien que l'on note une augmentation des précipitations estivales. La plupart des précipitations prennent la forme de pluies continues plutôt que de précipitations d'averses associées à l'activité convective. Les orages sont rares dans la région de la côte Ouest.

Pour la région de la côte Est, les contrôles climatiques à grande échelle comprennent les vents dominants en altitude, qui en se déplaçant d'ouest en est apportent avec eux les systèmes de tempête dans la région. L'intensité des systèmes de tempête formés au-dessus des plaines de l'Amérique du Nord se développe rapidement, au point où ils ont souvent atteint leur stade de maturité lorsqu'ils rejoignent la côte Est. Même si les tempêtes traversant cette région ont tendance à se déplacer assez rapidement, elles peuvent néanmoins apporter d'importantes précipitations et de grands vents. Ces événements se produisent principalement en hiver et au printemps. La région de la côte Est a deux autres trajectoires de tempête majeures qui ne touchent pas les autres parties du Canada. La première est celle des tempêtes qui se forment le long du littoral est des États-Unis, suivent la côte vers le nord-est et entrent dans l'est du Canada entre 36 et 48 heures après leur formation initiale. Ces tempêtes peuvent se déplacer et se développer très rapidement, les systèmes les plus violents étant désignés « tempêtes du nord-est » ou nor'easters (p. ex. Davis *et al.*, 1993). La tempête « Juan blanc », qui s'est abattue sur une grande partie des provinces atlantiques en février 2004 avec des chutes de neige record et des vents puissants, était une très forte tempête du nord-est. Les vents forts associés à la tempête ont engendré de très mauvaises conditions maritimes, y compris de la houle et une onde de tempête. La deuxième trajectoire de tempête unique touchant la région de la côte Est est la trajectoire généralement suivie par les cyclones tropicaux (ouragans) qui frappent la côte Est des États-Unis et le golfe du Mexique. Généralement, les ouragans ne s'abattent pas directement sur l'Est du Canada, à l'exception notable de l'ouragan Juan en septembre 2003. Ils s'abattent plutôt sur les États-Unis continentaux plus au sud et, à partir de ce point, la tempête se met à faiblir assez rapidement, perdant sa forme de cyclone tropical. C'est à ce moment que se déclenche la phase de transition extratropicale au cours de laquelle la tempête se transforme d'un cyclone tropical en cyclone extratropical. Malgré cet affaiblissement, ces tempêtes demeurent fortes et poursuivent généralement leur progression vers le nord-est jusqu'à la région de la côte Est du Canada. En raison de leur plus grand diamètre, certaines tempêtes tropicales et post-tropicales peuvent porter atteinte à une très grande zone et

causer presqu'autant de dommages qu'un véritable ouragan.

Maxwell (1981) cerne deux trajectoires de tempête principales dans l'Arctique canadien. La plus importante des deux part provient de l'est et entre dans la baie de Baffin par la mer du Labrador et le détroit de Davis. Il s'agit d'un rejeton de deux trajectoires de tempête majeures de l'Amérique du Nord, l'une suivant les latitudes moyennes des Rocheuses jusqu'à l'Est du Canada et l'autre longeant le littoral maritime atlantique. Les tempêtes suivant ces trajectoires se déplacent généralement au-dessus de l'Atlantique, où la trajectoire se divise. La plupart des tempêtes passent au sud du Groenland et poursuivent leur traversée de l'océan Atlantique. Certaines, toutefois, se tournent vers le nord en direction de la baie de Baffin et certaines d'entre elles s'immobilisent au-dessus de la baie d'Hudson. La seconde trajectoire de tempête majeure cernée par Maxwell (1981) vient de l'ouest et entre dans la mer de Beaufort et le golfe d'Amundsen, touchant l'archipel occidental et la côte continentale du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest et de l'ouest du Nunavut.

Certaines tempêtes de l'île de Baffin engendrent des coups de vent, et d'autres sont des événements de précipitations produisant de la neige, de la pluie verglaçante ou de la pluie (Roberts *et al.*, 2008; Hanesiak *et al.*, 2010). Les vents de tempête peuvent engendrer de la houle et des vagues dont l'énergie se transmet à la glace de mer et la fracture (Asplin *et al.*, 2012), ce qui a pour résultat d'accélérer la décroissance de la glace et d'introduire de l'humidité et de la chaleur supplémentaires dans l'atmosphère, lesquels peuvent produire des conditions nuageuses ou de brouillard plus fréquentes. Les grandes étendues d'eau libre que l'on trouve maintenant dans l'océan Arctique et les mers marginales peuvent fournir les gradients thermiques nécessaires à la création de puissantes tempêtes pouvant couvrir de grandes surfaces, comme on l'a observé en août 2012 dans l'ouest de l'océan Arctique, y compris dans les mers des Tchouktches et de Beaufort (Simmonds et Rudeva, 2012).

Les tempêtes et les vents de tempête ont une variété d'impacts sur les côtes nordiques. De nombreux secteurs de la région de l'est de la mer de Beaufort présentent une bathymétrie peu profonde de la plate-forme interne. Ces conditions favorisent le développement d'ondes de tempête qui, combinées à la présence de grandes régions au relief émussé dans le delta du fleuve Mackenzie, peuvent entraîner l'inondation de grandes étendues de terrain (Pisaric *et al.*, 2011) et peuvent créer des anomalies dans le niveau d'eau jusqu'à 100 km en amont de la côte (Marsh et Schmidt, 1993).

3.5.2 GLACE DE MER

Une caractéristique dominante de la région de la côte Nord du Canada est la glace : la glace de mer, le pergélisol et les glaciers (Forbes et Hansom, 2011; voir le chapitre 5). La présence de glace de mer favorise le refroidissement des côtes en été et rend les températures plus froides en hiver, puisque la couverture de glace de mer réduit le transfert d'humidité et d'énergie à l'atmosphère et réduit par conséquent l'influence modératrice de l'océan. La côte Est du Canada a elle aussi de la glace de mer, mais sa saison est plus courte (figure 16). La durée saisonnière de la glace de mer diminue sur presque toutes les côtes canadiennes, du golfe du Saint-Laurent (Forbes *et al.*, 2002) à l'archipel arctique (St-Hilaire-Gravel *et al.*, 2012) et à la mer de Beaufort

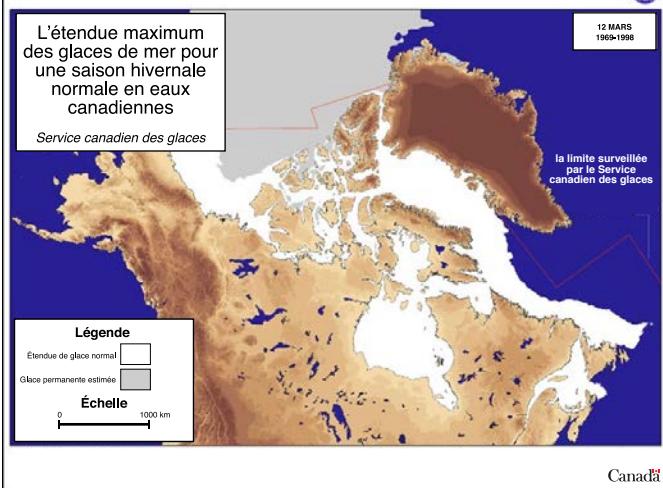


FIGURE 16 : Étendue maximale moyenne de la glace pour la période s'étendant de 1969 à 1998. Il est à remarquer que le 12 mars est la date retenue comme date de l'étendue maximale de la glace (Environnement Canada, 2013).

(Manson et Solomon, 2007; Overeem *et al.*, 2011). Dans toute la région de l'Arctique, la surface et l'épaisseur de la glace de mer diminuent, avec des réductions de l'étendue estivale de la glace de l'ordre de 12 % par décennie à cours des trois dernières décennies (Stroeve *et al.*, 2012; voir le chapitre 5). Pour l'instant, les prévisions des modèles climatiques semblent indiquer que l'océan Arctique pourrait être exempt de glace en été d'ici environ 2040 (Wang et Overland, 2009). Toutefois, même une couverture de glace estivale considérablement réduite aura de lourdes conséquences pour les côtes de l'Arctique (Barnhart *et al.*, 2014b).

3.5.3 CHANGEMENTS AU NIVEAU DE L'ACTIVITÉ ORAGEUSE

Il est difficile de déceler les changements au niveau de la fréquence des tempêtes en raison de nombreux facteurs, notamment la manière dont une tempête est identifiée et classée de même que les méthodes d'analyse. Dans le cas des cyclones tropicaux, différents organismes de surveillance (États-Unis, Japon, Hong Kong/Chine) définissent la vitesse maximale du vent de manière différente. Une approche courante de l'analyse des tempêtes consiste à identifier et à suivre les tempêtes individuellement et à établir des statistiques sommaires relatives à différentes régions (Mesquita *et al.*, 2009, 2010). D'autres approches mettent l'accent sur l'élaboration de statistiques représentant les paramètres météorologiques associés aux tempêtes, par exemple les vents forts (Atkinson, 2005). En outre, il est important de tenir compte de la durée d'enregistrement des données historiques afin de pouvoir distinguer les tendances de la variabilité cyclique. Par exemple, on reconnaît que la fréquence des cyclones tropicaux (ouragans) dans le bassin de l'Atlantique présente un cycle irrégulier caractérisé par des périodes d'activité faible et forte lié à l'oscillation atlantique multidécennale (Enfield et Cid-Serrano, 2010).

Malgré ces difficultés, il est évident que la trajectoire des tempêtes des latitudes moyennes se déplace vers le nord (GIEC, 2013), apportant en moyenne une plus grande fréquence de tempêtes dans le nord du Canada et une plus grande proportion de

tempêtes qui arrivent au Canada par l'ouest. La force et la position du courant-jet sont les principaux facteurs déterminants de la force et de la trajectoire des cyclones extratropicaux. Les modifications du courant-jet se feront sentir localement sous forme de climat modifié (p. ex. tempêtes plus ou moins fréquentes, incursions d'air chaud plus fréquentes). Une évaluation de la fréquence et du taux des chutes de pression enregistrés dans des stations partout au Canada — un substitut pour l'activité orageuse — a révélé une activité orageuse hivernale accrue dans le sud de l'Arctique et une faible diminution le long des côtes du sud du Pacifique et de l'Atlantique (Wang *et al.*, 2006). Une activité orageuse estivale plus fréquente, mais moins intense a été constatée pour la côte de l'Atlantique.

Il est possible qu'il existe des liens entre la réduction de la glace de mer et la survenue de phénomènes météorologiques extrêmes plus au sud (Francis et Vavrus, 2012, 2015). La réduction de la glace de mer se traduit par une plus grande étendue d'eau libre qui réchauffe l'atmosphère polaire, le tout pouvant contribuer à amoindrir la force est-ouest du courant-jet. Cela à son tour a une incidence sur la forme du courant-jet, cette modification lui permettant de serpenter vers le nord et le sud et de créer des situations de « blocage » (encadré 6) susceptibles d'immobiliser des systèmes météorologiques (p. ex. temps pluvieux qui s'étire sur deux semaines). Pendant ces périodes, des phénomènes extrêmes peuvent se produire sous la forme de périodes prolongées de pluie, de sécheresse, de chaleur ou de froid. Cette idée ne fait pas l'unanimité (Barnes, 2013; Fischer et Knutti, 2014) mais constitue un domaine de recherche active, conflit qui reflète la complexité de nombreux systèmes terrestres.

Il est plus difficile de quantifier les changements futurs relatifs aux tempêtes et à la circulation que les changements relatifs à la température et aux précipitations. Dans le cas des tempêtes, les changements climatiques ne se traduisent pas par une augmentation du nombre de tempêtes dans l'hémisphère, mais plutôt par des changements dans la trajectoire des tempêtes et dans la durée de temps pendant laquelle les régimes d'écoulement atmosphérique à grande échelle se conforment à des conditions climatiques particulières. Les récents travaux ayant recours au scénario à émissions élevées (RCP8.5) prévoient une diminution générale de l'activité orageuse dans l'est et dans l'ouest du Canada, mais une augmentation de l'activité orageuse dans le nord à l'automne (Chang, 2013).

4 MODIFICATION DU NIVEAU DE LA MER

L'une des plus importantes conséquences des changements climatiques est l'élévation du niveau de la mer (Stern, 2007; GIEC, 2013). On prévoit une augmentation du niveau moyen mondial, ou absolu, de la mer de dizaines de centimètres, et peut-être même plus d'un mètre, d'ici l'an 2100, surtout en raison de l'expansion thermique des océans et de la fonte accrue de la glace terrestre (glaciers, calottes glaciaires et inlandsis; p. ex. GIEC, 2013; Church *et al.*, 2013a). L'élévation du niveau de la mer entraîne une augmentation de la fréquence des inondations côtières et peut entraîner une augmentation du taux d'érosion côtière. Par conséquent, les prévisions du changement du niveau de la mer sont importantes aux fins de prévision des risques pour la population, de planification des activités d'entretien et la mise en valeur de l'infrastructure et de gestion de l'habitat (p. ex. Nicholls *et al.*, 2011).

ENCADRÉ 6

SITUATIONS DE BLOCAGE

Une situation de blocage est une configuration trop sinuose de l'écoulement dans l'atmosphère qui ne se conforme pas au déplacement habituel des régimes climatiques d'ouest en est. À la place, les systèmes climatiques « s'immobilisent » et restent relativement stationnaires ou se déplacent lentement au-dessus d'une région donnée (qui peut être très vaste). Une situation de blocage peut subsister jusqu'à trois semaines et, pendant ce temps, les régions touchées par le blocage connaissent des conditions météorologiques très persistantes. La figure 17 illustre un blocage typique au milieu de l'Atlantique datant de février 1987, qui s'est traduit par une période prolongée de temps froid dans le Canada atlantique. Un exemple sur la côte Ouest s'est produit en septembre 2012 sous l'influence d'une crête de haute pression très persistante qui a assuré des semaines de temps ensoleillé, lequel s'est prolongé pendant ce qui aurait dû être le début de l'automne. De même, l'année suivante, un creux persistant a provoqué le pompage d'un air chaud et humide du sud-ouest vers la région de l'île de Vancouver, apportant des températures chaudes et des pluies modérées qui ont duré plusieurs semaines. Les résultats de recherches récentes semblent indiquer que le réchauffement de l'Arctique a entraîné l'affaiblissement de la force est-ouest du courant-jet (Francis et Vavrus, 2012), condition qui lui permet de serpenter davantage et mène à une augmentation de la fréquence des situations de blocage.

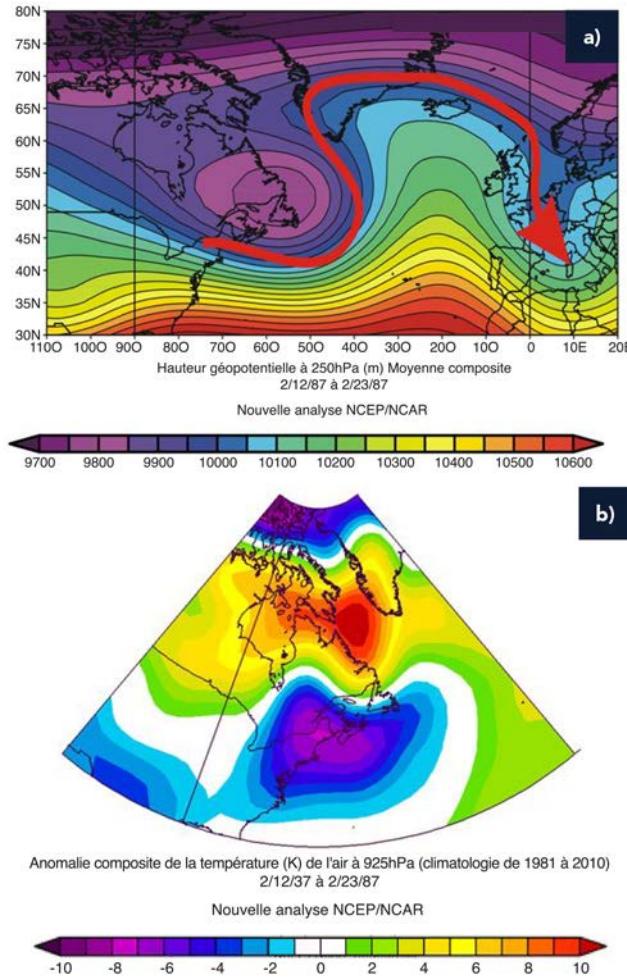


FIGURE 17 : a) Configuration de l'écoulement dans la haute atmosphère pendant un blocage typique au milieu de l'Atlantique. Les courbes de niveau relient des points d'élévation égale de cette surface piézométrique (250 hPa) au-dessus de la surface. La grosse flèche indique la position générale du courant-jet pendant la période du 12 au 23 février 1987. b) Anomalies dans la température régionale pendant la période illustrée à la partie a). La présence du blocage a entraîné une période prolongée de température froide pour la majeure partie de la région de la côte Est, comme le démontrent les anomalies de température négative ainsi qu'une forte anomalie de température chaude au-dessus des régions du nord du Labrador et de la baie d'Hudson de même que du sud de l'île de Baffin. Données et représentation graphique dressées à l'aide de l'outil d'extraction et de visualisation des données climatiques en ligne de la division des sciences physiques du Earth System Research Laboratory (laboratoire de recherche sur le système terrestre) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (administration américaine pour les océans et l'atmosphère).

4.1 CHANGEMENT HISTORIQUE DU NIVEAU DE LA MER

Mondialement, le niveau de la mer s'est élevé au rythme moyen de $1,7 \pm 0,2$ mm/an entre 1901 et 2010, alors qu'entre 1993 et 2010, il s'est élevé au rythme plus rapide de $3,2 \pm 0,4$ mm/an (Church et al., 2013a). Toutefois, on constate une variabilité considérable du rythme pendant tout le XX^e siècle (Church et White, 2006). Le changement du niveau de la mer est observé au moyen d'un

réseau mondial de marégraphes, auquel viennent s'ajouter des observations par satellite recueillies au cours des dernières décennies. Les tendances à long terme du niveau de la mer enregistrées par les marégraphes varient considérablement d'un lieu à l'autre. Une partie de la variabilité est attribuable aux effets océanographiques qui touchent l'élévation de la surface de la mer, mais un des principaux facteurs de contrôle du changement du niveau relatif de la mer est le déplacement vertical des terres (encadré 7).

ENCADRÉ 7

CHANGEMENT DU NIVEAU ABSOLU ET RELATIF DE LA MER

(Bush et al., 2014, p. 53)

Le changement du niveau mondial de la mer est couramment abordé en termes de niveau « absolu » de la mer, ce qui signifie qu'il est mesuré par rapport au centre de la Terre. Sur la côte, le changement du niveau de la mer qui est constaté ou observé par rapport à un endroit fixe sur la terre est appelé changement du niveau relatif de la mer. Le changement du niveau relatif de la mer est la combinaison du changement du niveau absolu de la mer et du déplacement vertical des terres, qui peuvent tous deux varier d'un endroit à l'autre. Le soulèvement des terres fait diminuer l'élévation du niveau relatif de la mer et la subsidence des terres accroît l'élévation du niveau relatif de la mer. Lorsqu'il s'agit de déterminer le changement du niveau relatif de la mer pour l'ensemble du Canada, le déplacement vertical des terres (soulèvement et subsidence) joue un rôle de premier plan, même si les variations régionales dans le changement du niveau absolu de la mer sont également importantes.

La première cause de déplacement vertical des terres dans la plus grande partie du Canada est l'ajustement isostatique glaciaire (AIG), qui provoque le soulèvement ou la subsidence de la surface en raison des effets retardés de la dernière glaciation continentale (figure 18). Pendant la dernière période glaciaire, des inlandsis ont recouvert la surface de la Terre, y compris la majeure partie de la masse terrestre canadienne. Sous les inlandsis, à l'intérieur de la Terre, le régolite s'est déplacé vers le bas et l'extérieur et la surface de la Terre s'est affaissée. À la périphérie et immédiatement au-delà de l'inlandsis, les terres se sont soulevées en réaction au déplacement du matériau mantellique sous les inlandsis vers l'extérieur. Après la déglaciation, le processus s'est inversé et les terres ont commencé à se soulever là où elles avaient été enfoncées sous les inlandsis. À l'extérieur de la région de l'ancienne glaciation, les régions périphériques ont commencé à s'affaïsser. Le processus de l'AIG se poursuit, provoquant un soulèvement dans les régions près du centre des anciens inlandsis, comme la baie d'Hudson. Dans les régions près en périphérie des anciens inlandsis, l'AIG provoque la subsidence des terres.

D'autres facteurs produisent également un déplacement vertical important des terres. Le déplacement le long des principales failles peut entraîner un soulèvement ou une subsidence. Les sédiments déposés dans les grands deltas (p. ex. deltas des fleuves Fraser et Mackenzie) près de l'embouchure des gros fleuves se compactent, provoquant la subsidence de la surface du delta. À l'échelle locale, la subsidence de surface peut être provoquée par le compactage de sédiments non consolidés et par le retrait des eaux souterraines. Sur la côte Ouest du Canada, la tectonique, les processus sédimentaires et l'AIG, y compris la réaction de la croûte terrestre aux changements touchant les glaciers actuels, ont tous une incidence sur le déplacement vertical de la croûte terrestre et les changements au niveau relatif de la mer. Dans les régions des côtes est et nord du Canada, l'AIG est la principale cause de déplacement vertical de la croûte terrestre à l'échelle régionale. Dans le Haut-Arctique et l'est de l'Arctique, la réaction de la croûte terrestre aux changements touchant les glaciers actuels est également très importante.

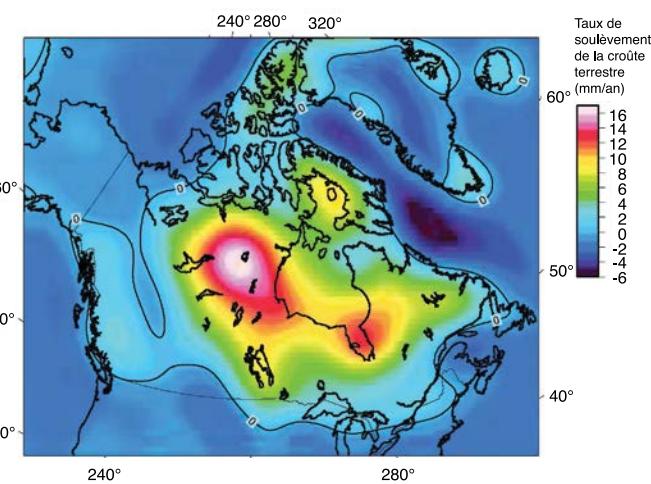


FIGURE 18 : Déplacement vertical des terres, en millimètres par an, produit par l'ajustement isostatique glaciaire, selon le modèle ICE-5G (Peltier, 2004).

Les effets du déplacement vertical des terres sont manifestes dans les registres de données des marégraphes (figure 19). Là où les terres se soulèvent rapidement en raison de l'AIG, comme à Churchill au Manitoba, le niveau de la mer chute rapidement, au rythme de 9,3 mm/an. Là où les terres s'affaissent en raison de l'AIG, comme dans la majeure partie des Maritimes et le long de la côte de la mer de Beaufort dans les Territoires du Nord-Ouest et au Yukon, le niveau de la mer s'élève plus rapidement que la moyenne mondiale du XX^e siècle. À Halifax, le niveau de la mer a augmenté au rythme d'environ 3,3 mm/an pendant tout le XX^e siècle. Au cours des derniers 50 ans, l'élévation du niveau de la mer a atteint une moyenne de 2,4 mm/an à Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest. On constate que la côte ouest de l'île de Vancouver se soulève lentement, sans doute en raison de l'activité tectonique, et le niveau de la mer à Tofino a baissé au rythme de 1,6 mm/an.

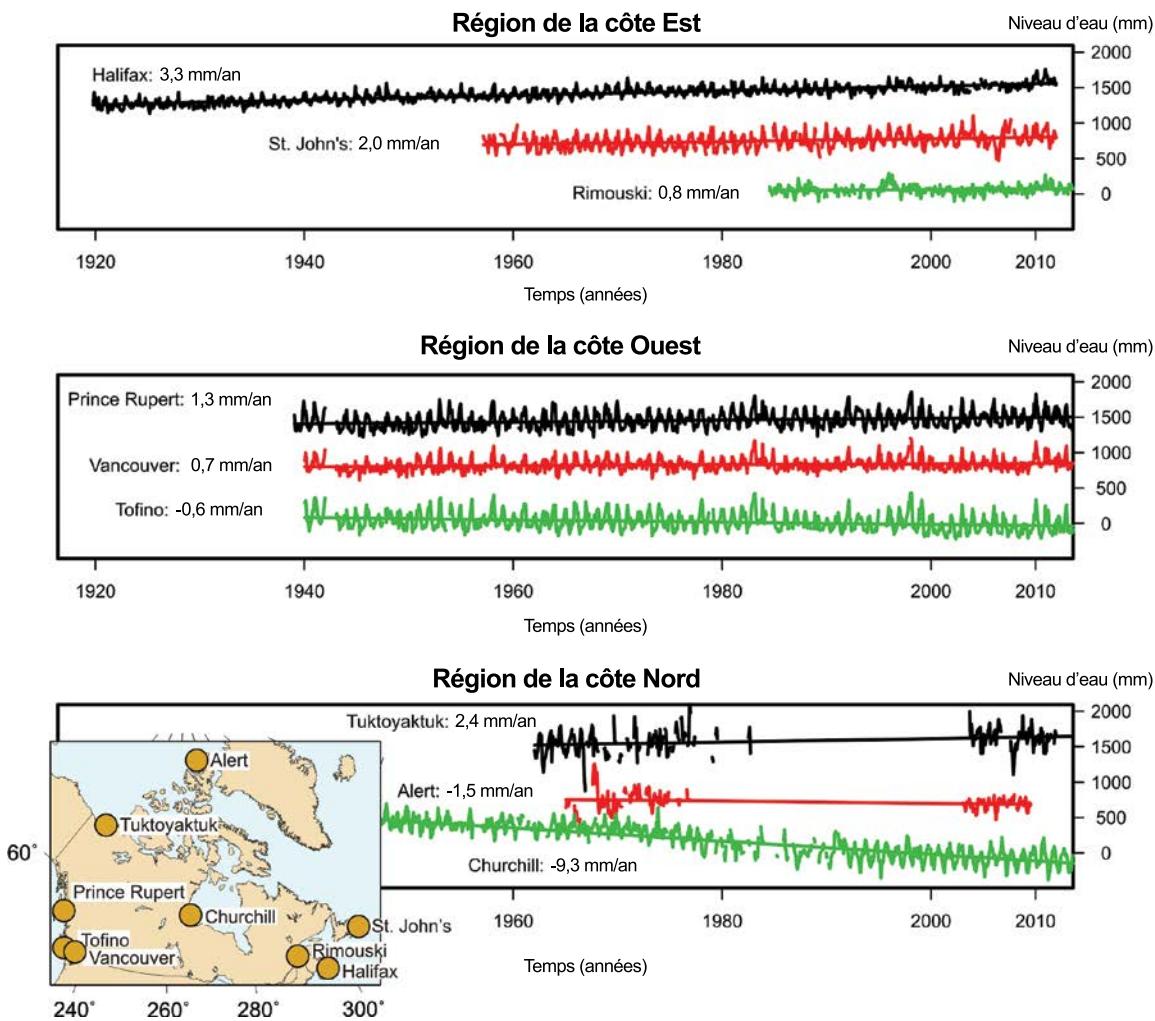


FIGURE 19 : Tendances à long terme en matière de changement du niveau relatif de la mer au Canada, telles qu'enregistrées par les marégraphes représentatifs. Les données des marégraphes proviennent du Permanent Service for Mean Sea Level (service permanent du niveau moyen de la mer) à l'adresse <http://www.psmsl.org/data/obtaining> consultée le 19 septembre 2014.

4.2 CHANGEMENT FUTUR DU NIVEAU DE LA MER

Les prévisions des changements dans le niveau relatif de la mer revêtent une importance particulière pour la planification de l'adaptation. Les prévisions du niveau relatif de la mer seront différentes du changement du niveau de la mer à l'échelle mondiale en raison du mouvement vertical local de la croûte terrestre provoqué par l'AIG, la tectonique et d'autres facteurs. Les prévisions du niveau de la mer exigent également de tenir compte des changements océanographiques dynamiques et de la réaction de la Terre aux changements touchant la masse de glace actuelle, y compris les variations spatiales dans la redistribution de l'eau de fonte glaciaire dans les océans.

Des prévisions des changements dans le niveau relatif de la mer pour le littoral canadien, fondées sur les scénarios et les prévisions mondiales du Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC, 2013), ont été publiées par James *et al.* (2014, 2015). La section suivante résume la méthodologie et les résultats de cette analyse.

4.2.1 ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER À L'ÉCHELLE MONDIALE

Les prévisions de l'augmentation du niveau de la mer mondial présentées dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC et citées ici (figure 20) reposent sur les scénarios de Representative Concentration Pathways, ou RCP (profils représentatifs d'évolution de concentration; Moss *et al.*, 2010; encadrés 4 et 8). Plusieurs des nouveaux scénarios RCP sont à peu de choses près comparables (en termes d'augmentations mondiales de la température annuelle moyenne d'ici l'an 2100) à ceux du SRES (Nakićenović *et al.*, 2000; encadré 4), qui étaient la norme utilisée aux fins d'analyse des changements climatiques au cours de la dernière décennie (tableau 1; pour plus de renseignements au sujet des scénarios SRES et , consulter GIEC (2013) ou Bush *et al.* (2014). L'élévation médiane prévue du niveau de la mer correspondant au scénario RCP à émissions les plus élevées (RCP8.5) est 1,7 fois plus importante que celle correspondant au scénario RCP à émissions les plus faibles (RCP2.6; figure 20).

TABLEAU 1 : Prévisions des changements de la température moyenne et du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale en fonction des Representatif Concentration Pathways scenarios ou RCP (scénarios de profils représentatifs d'évolution de concentration; GIEC, 2013) et les scénarios qui leur sont étroitement associés présentés dans le *Special Report on Emission Scenarios* (SRES; rapport spécial sur les scénarios d'émissions), en ce qui concerne l'augmentation médiane de la température d'ici 2100 (Rogelj *et al.*, 2012).

Scénario RCP	Augmentation probable de la température mondiale à la surface pour la période 2081–2100* (en °)	Élevation probable du niveau mondial de la mer pour 2081–2100* (en m)	SRES comparable
RCP2.6	0,3–1,7	0,26–0,55	Aucun
RCP4.5	1,1–2,6	0,32–0,63	SRES B1
RCP6	1,4–3,1	0,33–0,63	SRES B2
RCP8.5	2,6–4,8	0,45–0,82	SRES A1FI

* par rapport à la période 1986–2005

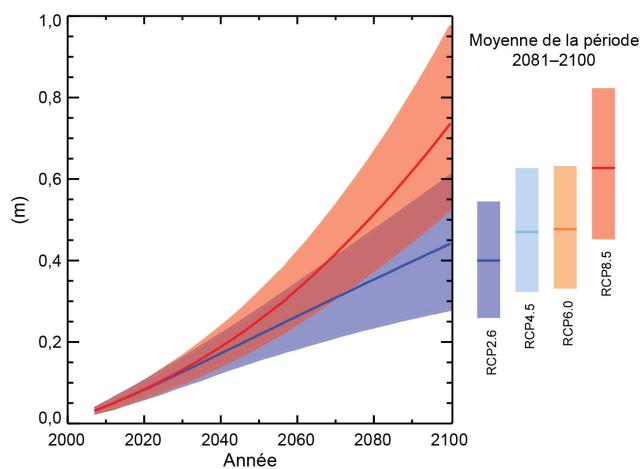


FIGURE 20 : Élevation prévue du niveau de la mer au cours du XXI^e siècle par rapport à la période s'étendant de 1986 à 2005 correspondant au RCP2.6 (scénario à émissions faibles) et au RCP8.5 (scénario à émissions élevées; figure SPM.9, GIEC, 2013). Les lignes illustrent la prévision médiane et l'ombrage, la plage évaluée (5^e au 95^e centile, ou intervalle de confiance de 90 %). L'élévation moyenne prévue du niveau de la mer entre 2081 et 2100 est indiquée à droite pour les quatre scénarios RCP.

La possibilité que l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale dépasse 1 m d'ici 2100 ne peut pas être écartée. Les prévisions du niveau de la mer fondées sur des relations simples entre la température atmosphérique mondiale (ou flux de chaleur) et l'élévation du niveau mondial de la mer, appelées prévisions semi-empiriques (Rahmstorf, 2007), estiment des élévations plus importantes du niveau de la mer d'ici 2100 (p. ex. 75 à 190 cm, Vermeer et Rahmstorf, 2009; 60 à 160 cm, Jevrejeva *et al.*, 2010). Toutefois, les progrès récents au niveau de la compréhension des processus de stabilité des inlandis, conjugués à la très grande variabilité des résultats semi-empiriques, ont poussé les auteurs du Cinquième rapport d'évaluation du GIEC à attribuer une cote de faible niveau de confiance à ces prévisions (Church *et al.*, 2013a). Les répercussions d'une élévation prévue plus considérable du niveau mondial de la mer sont abordées de façon plus détaillée au chapitre 3 dans le contexte de la tolérance au risque.

Comme indiqué ci-dessus, divers éléments contribuent à l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale. Church *et al.* (2013a) fournissent des estimations et des contributions à l'élévation du niveau mondial de la mer apportées par l'expansion thermique de la couche supérieure de l'océan (appelée effet stérique), des glaciers de montagnes, calottes glaciaires et inlandis du Groenland et de l'Antarctique ainsi que des réserves en eau (épuisement de l'eau souterraine et retenue des réservoirs d'eau). Les contributions de l'inlandis de l'Antarctique occidental constituent un facteur particulièrement important, mais sont mal encadrées (Church *et al.*, 2013a). Les analyses de l'élévation supplémentaire du niveau de la mer qui peut découler de l'instabilité de l'inlandis marin de l'Antarctique occidental d'ici 2100 (Pfeffer *et al.*, 2008; Katsman *et al.*, 2011; National Research Council, 2012; Bindschadler *et al.*, 2013) arrivent à une estimation moyenne supérieure de 64,6 cm. Ainsi que l'on peut lire dans le Résumé à l'intention des décideurs, qui est la contribution du Groupe de travail I au Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC, 2013, p. 25) :

D'après les connaissances actuelles, seul l'effondrement des parties marines de la calotte glaciaire de l'Antarctique, s'il se déclenche, pourrait entraîner une hausse du niveau des mers nettement supérieure à l'intervalle probable pour le XXI^e siècle. Cependant, cette contribution ne dépasserait pas quelques dixièmes de mètre d'élévation du niveau des mers au cours du XXI^e siècle (degré de confiance moyen).

Pour tenir compte de cette contribution supplémentaire possible à l'élévation du niveau mondial de la mer au cours de ce siècle, l'analyse dans le présent rapport prend en considération un scénario additionnel en plus de ceux utilisés dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (encadré 8; tableau 2). Dans l'ensemble, ce rapport met l'accent sur les précisions du niveau de la mer en fonction de quatre scénarios, résumés au tableau 2. Une discussion sur la pertinence de ces scénarios relative à la détermination des risques en matière de gestion côtière est présentée au chapitre 3, de même que dans les chapitres régionaux du présent rapport.

ENCADRÉ 8

SCÉNARIOS D'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER À L'ÉCHELLE MONDIALE UTILISÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT

Les prévisions de l'élévation du niveau de la mer présentées dans le présent chapitre et utilisées dans l'ensemble du présent rapport mettent l'accent sur quatre scénarios d'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale. Trois des quatre scénarios, soit les RCP2.6, 4.5 et 8.5, sont identiques à ceux présentés dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC, 2013). Le quatrième scénario RCP dont le GIEC a tenu compte, RCP6.0, est associé à des prévisions de l'élévation du niveau mondial de la mer très semblables mais légèrement supérieures à celles du RCP4.5 (figure 20). Les deux sont considérés comme des scénarios à émissions modérées mais seul le RCP4.5 est présenté ici afin de simplifier la présentation visuelle des prévisions d'élévation du niveau de la mer.

En plus des scénarios RCP fondés sur des modèles, ce rapport présente également un scénario conçu afin d'évaluer l'effet qu'aurait un effondrement partiel de l'inlandsis de l'Antarctique occidental sur le changement du niveau relatif de la mer au Canada. Le scénario à émissions élevées RCP8.5, le scénario ayant le plus de chances d'être associé à l'effondrement de l'inlandsis, se voit ajouter une contribution supplémentaire

de 65 cm à l'élévation du niveau de la mer provenant de l'Antarctique occidental. Appelé ici le « scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique », il prévoit la plus grande élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale et représente une limite supérieure possible de l'élévation du niveau mondial de la mer d'ici 2100, d'après les renseignements contenus dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (tableau 2; GIEC, 2013). Aux fins de planification, les scénarios peuvent être étudiés dans le contexte de la tolérance au risque d'élévation du niveau de la mer (chapitre 3; Parris *et al.*, 2012).

TABLEAU 2 : Scénarios utilisés dans le présent rapport pour produire des prévisions de l'élévation du niveau relatif de la mer.

Scénario	Nom descriptif du scénario
RCP2.6	Émissions faibles
RCP4.5	Émissions modérées
RCP8.5	Émissions élevées
RCP8.5 plus 65 cm attribuables à l'effondrement partiel de l'inlandsis de l'Antarctique occidental	Émissions élevées plus réduction de l'inlandsis de l'Antarctique

4.2.2 MOUVEMENT VERTICAL DES TERRES

Comme indiqué ci-dessus, le mouvement vertical des terres a une forte incidence sur les changements du niveau relatif de la mer. Le soulèvement des terres réduira l'élévation du niveau de la mer constatée en un endroit donné et vice versa, la subsidence des terres accentuera l'élévation du niveau relatif de la mer. Le soulèvement ou la subsidence des terres actuelles est mesurée au moyen de la technologie du système mondial de localisation (GPS), ou plus généralement système mondial de satellites de navigation. La position d'une antenne, généralement fixée au substratum rocheux, est surveillée de manière continue ou répétitive sur plusieurs années en suivant la ou les constellations du satellite de navigation. Le taux de soulèvement à long terme est calculé à partir de la série temporelle de positions verticales.

La densité des stations GPS varie considérablement d'un endroit à l'autre au Canada (figure 21), et la plupart disposent de données couvrant une période de 5 à 15 ans. Les taux de soulèvement (la méthodologie est présentée dans James *et al.*, 2014) sont généralement homogènes à l'échelle pancanadienne. Dans la région de la côte Est, le mouvement vertical varie d'un soulèvement d'environ 1 à 4,5 mm/an pour les sites du Québec à une subsidence pouvant atteindre quelque 2 mm/an en certains endroits de la Nouvelle-Écosse. Sur la côte Ouest, les taux de soulèvement varient d'une subsidence d'environ 1 mm/an à Puget

Sound à un soulèvement de près de 4 mm/an dans la partie centrale de l'île de Vancouver, de même que de plus légers soulèvements plus au nord. La côte ouest de l'île de Vancouver se soulève en raison de la déformation causée par la subduction de la

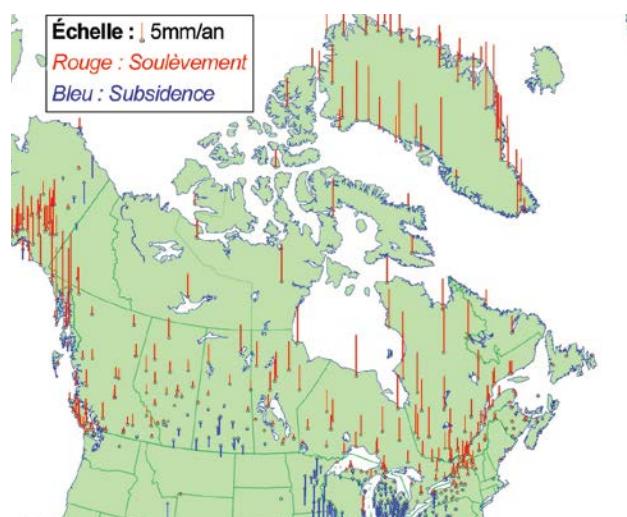


FIGURE 21 : Taux de soulèvement et de subsidence de la croûte terrestre déterminés au moyen de données GPS (en millimètres par an; Craymer *et al.*, 2011).

plaqué Juan de Fuca sous l'Amérique du Nord. La plus importante variation dans le déplacement vertical des terres se remarque dans l'Arctique. La baie d'Hudson se soulève au rythme de 10 mm/an ou plus, ce qui se traduit par une chute du niveau relatif de la mer. D'importantes parties de l'archipel Arctique canadien se soulèvent de quelques millimètres par an, alors que le littoral de la mer de Beaufort dans l'ouest de l'Arctique soumis aux effets de l'ajustement isostatique glaciaire, s'affaisse au rythme de 1 à 2 mm/an. Les rares observations GPS recueillies dans l'est de l'Arctique et le Haut-Arctique révèlent des taux de soulèvement de quelques millimètres par an découlant d'une combinaison d'AIG et de réaction de la croûte terrestre au changement dans la masse de glace actuelle.

4.2.3 EFFETS DU CHANGEMENT DANS LA MASSE DE GLACE ACTUELLE

L'eau provenant de la fonte des glaciers, des calottes et des inlandsis n'est pas répartie de manière uniforme dans les océans du monde (Farrell et Clark, 1976; Mitrovica *et al.*, 2001, 2011). À mesure qu'un glacier ou un inlandsis fond, la masse réduite de la glace restante entraîne le soulèvement des terres en-dessous et à côté d'un inlandsis en retrait parce que la croûte de la Terre réagit comme un objet élastique et reprend sa forme. En outre, la masse de glace en retraite exerce une force gravitationnelle réduite sur l'eau de l'océan qui l'entoure, ce qui fait en sorte que la surface de l'océan voisin subit une baisse (figure 22). L'effet peut être très marqué pour les sites à proximité de sources d'eau de fonte. Le Canada abrite une quantité importante de glaciers de montagne et de calottes glaciaires dans le Nord et, à l'échelle mondiale, est relativement proche de l'inlandsis du Groenland. L'Ouest du Canada subit également l'influence des glaciers de montagne et des champs de glace en recul rapide de la chaîne Côtière et du golfe de l'Alaska. Par conséquent, en ce qui a trait aux localités canadiennes, il est particulièrement important que les prévisions du niveau de la mer tiennent compte des effets du changement de la masse de glace actuelle.

4.2.4 EFFETS OCÉANOGRAPHIQUES RÉGIONAUX

Les courants océaniques mondiaux créent une topographie « dynamique » à la surface de la mer de plus d'un mètre d'amplitude. Les changements aux courants océaniques peuvent entraîner des changements dans la topographie de la surface de la mer et par conséquent des changements dans le niveau relatif de la mer à l'échelle locale. Une caractéristique marquée de ces changements dynamiques dans le niveau de la mer est qu'une élévation du niveau de la mer attribuable à l'affaiblissement du Gulf Stream est prévue pour le nord-est de la côte de l'Amérique du Nord au cours du siècle à venir (Yin *et al.*, 2010; Yin, 2012; Church *et al.*, 2013a). Dans le cas de l'ouest de l'Arctique, on prévoit que les changements océanographiques dynamiques dans le niveau de la mer seront presqu'aussi importants que ceux de la région de la côte Est, alors que ceux de la côte du Pacifique devraient être relativement légers. Par contre, un événement d'ENSO d'importance considérable peut faire s'élever le niveau de la mer de plusieurs dixièmes de centimètres dans la région de la côte Ouest (section 4.3, Thomson *et al.*, 2008).

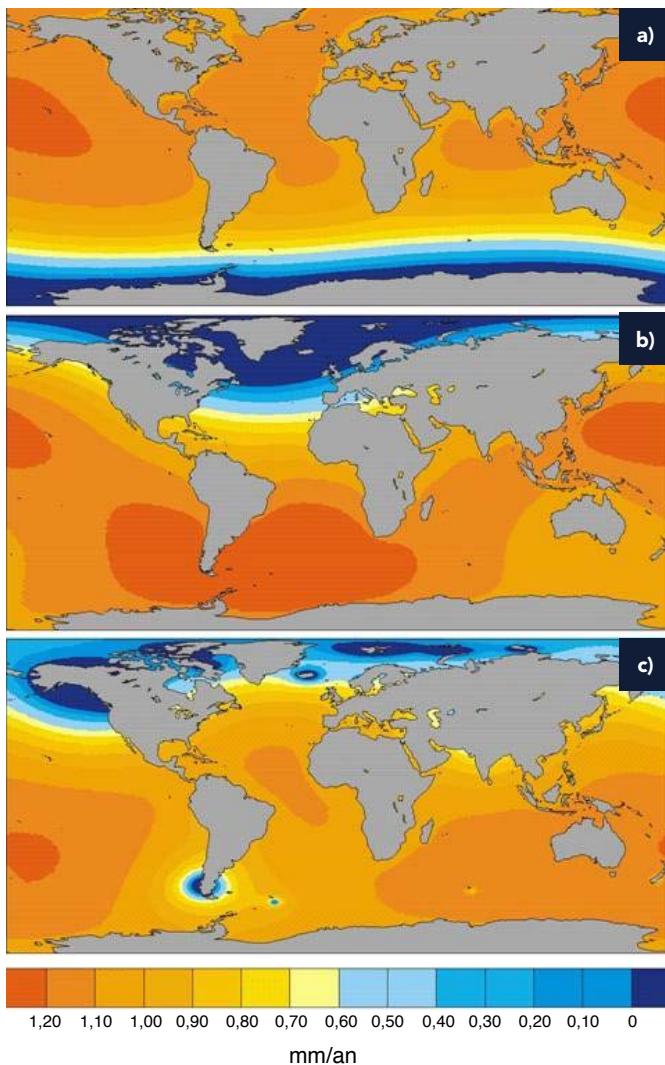


FIGURE 22 : Élévation du niveau relatif de la mer, en millimètres par an, en fonction d'une contribution présumée de 1 mm/an à l'élévation du niveau mondial de la mer **a)** de l'Antarctique, **b)** du Groenland et **c)** des glaciers de montagne et des calottes glaciaires (tiré de Mitrovica *et al.*, 2001). Près d'une source d'élévation du niveau de la mer, le niveau relatif de la mer descendra. À plus grande distance, l'élévation du niveau de la mer est moins importante que la moyenne mondiale. À des distances encore plus grandes, l'élévation du niveau de la mer est légèrement supérieure à la moyenne mondiale.

4.3 PRÉVISIONS DU CHANGEMENT DU NIVEAU DE LA MER AU CANADA

4.3.1 PRÉVISIONS DU CHANGEMENT DU NIVEAU RELATIF DE LA MER

Des prévisions du niveau relatif de la mer portant sur 69 collectivités côtières et autres lieux côtiers du Canada et du nord des États-Unis ont été faites par James *et al.* (2014; figure 23), qui se sont fondés sur le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (Church *et al.*, 2013a, b). Les prévisions tiennent compte des contributions à l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale de l'effet stérique, de l'influence de la glace terrestre et des activités de nature anthropique comme le pompage de l'eau souterraine déjà mentionnés, et considèrent également les effets de l'océanographie dynamique, qui peuvent varier d'un endroit

à l'autre et des changements à la masse de glace actuelle. On s'est servi du mouvement vertical des terres déterminé à l'aide du GPS pour déterminer le changement prévu du niveau relatif de la mer (Mazzotti *et al.*, 2008; méthodologie présentée dans James *et al.*, 2014).

Les différences spatiales dans le changement prévu du niveau relatif de la mer sont semblables aux changements historiques du niveau de la mer et suivent en majeure partie le schéma de mouvement vertical des terres. Les plus importantes élévations prévues du niveau de la mer, qui dépassent 75 cm pour la prévision médiane du scénario à émissions élevées en 2100 (points rouges sur la figure 23), se produisent aux endroits où les terres s'affaissent actuellement en raison de l'AIG dans la région de la côte Est. D'importantes élévations du niveau de la mer sont également prévues dans le Puget Sound au nord de l'état de Washington. Les autres secteurs où les terres s'affaissent ou se soulèvent lentement en raison de l'AIG et pour lesquelles on prévoit une élévation du niveau de la mer supérieure à 50 cm (points orange) sont la côte de la mer de Beaufort, certaines régions de Terre-Neuve et du Québec et, sur la côte du Pacifique, les basses-terres du Fraser et le nord de la Colombie-Britannique. La tectonique active et, dans le delta du fleuve Fraser, la consolidation des sédiments (Mazzotti *et al.*, 2009), contribuent au déplacement vertical de la croûte terrestre dans l'ouest. Là où, actuellement, les terres se soulèvent le plus rapidement, soit dans la baie d'Hudson et le centre de l'archipel arctique canadien, on prévoit que le niveau de la mer s'abaissera de plus de 50 cm (points bleu foncé et mauves sur la figure 23). Dans le Haut-Arctique et l'est de l'Arctique, les effets des changements dans la masse de glace actuelle (des glaciers et des calottes glaciaires arctiques de même que de l'inlandsis du Groenland) contribuent à une faible élévation prévue du niveau de la mer ou à des chutes de faible importance du niveau de la mer. Ce phénomène est particulièrement marqué à Alert, le lieu sis le plus au nord de cette région, dont la proximité à l'inlandsis du Groenland contribue à une importante chute prévue

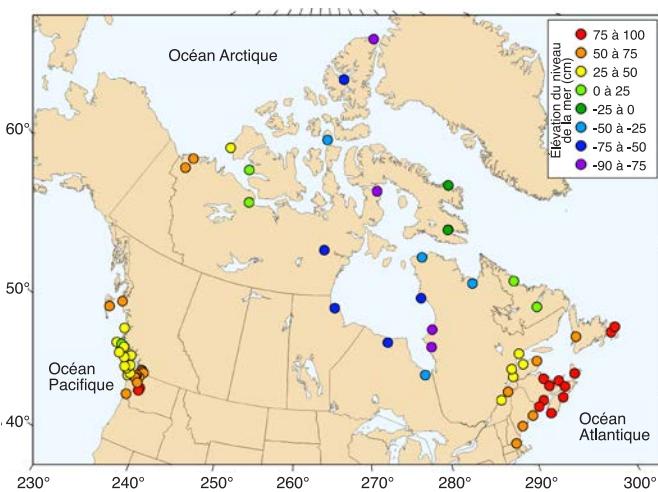


FIGURE 23 : Changement prévu du niveau relatif de la mer en 2100 (en cm) pour la médiane du scénario à émissions élevées (RCP8.5) en 69 endroits côtiers au Canada et dans le nord des États-Unis (James *et al.*, 2014, 2015). Les valeurs varient de -84 à 93 cm et se rapportent aux conditions notées au cours de la période s'étendant de 1986 à 2005.

du niveau de la mer attribuable au soulèvement élastique de la croûte terrestre découlant de la réduction prévue de l'inlandsis du Groenland et des calottes glaciaires arctiques.

La figure 24 résume les prévisions du niveau de la mer en fonction de tous les scénarios pour Halifax (N.-É.), Vancouver (C.-B.), Nain (T.-N.-L.) et La Grande 1 (QC). Ces scénarios couvrent un éventail de déplacements verticaux de la croûte terrestre variant d'environ -1 mm/an (Halifax, qui s'enfonce) à 15 mm/an (La Grande 1, qui se soulève rapidement). Le scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis antarctique se distingue en raison du fait qu'il formule des prévisions de changement du niveau relatif de la mer dépassant 150 cm à Halifax en 2100 et ne prévoit qu'une diminution négligeable du niveau de la mer à l'endroit qui se soulève le plus rapidement, La Grande 1 (en particulier lorsqu'on le compare avec le scénario à émissions faibles, qui prévoit environ 50 cm d'élévation du niveau de la mer à Halifax et plus de 100 cm de chute du niveau de la mer à La Grande 1). D'autres détails sur la variabilité régionale des changements prévus du niveau de la mer sont présentés aux chapitres 4 (région de la côte Est), 5 (région de la côte Nord) et 6 (région de la côte Ouest) du présent rapport.

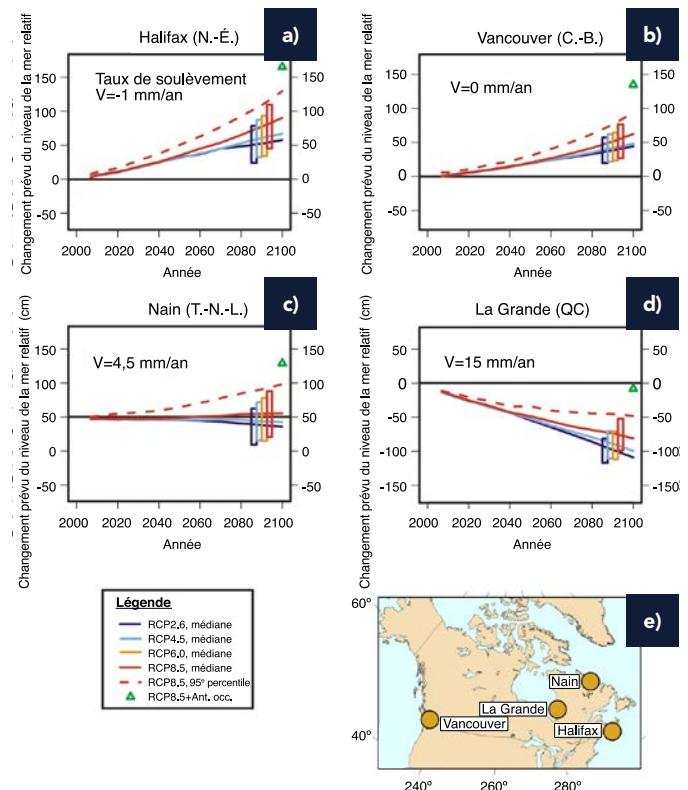


FIGURE 24 : Changement prévu du niveau relatif de la mer, fondé sur le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (Church *et al.*, 2013a, b) et ayant recours au déplacement vertical (V) de la croûte terrestre (taux de soulèvement, indiqué à 0,5 mm/an près) tiré des observations GPS indiquées dans chaque panneau pour **a)** Halifax, **b)** Vancouver, **c)** Nain et **d)** La Grande 1 (James *et al.*, 2014, 2015). Les prévisions sont indiquées pour le siècle en cours pour les scénarios à émissions faibles (RCP2.6), à émissions modérées (RCP4.5) et à émissions élevées (RCP8.5). La valeur prévue en 2100 est également indiquée pour le scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique (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 s'étendant de 2081 à 2100 et comprennent également le scénario RCP6.0; la ligne pointillée rouge indique la valeur du 95^e centile pour le scénario à émissions élevées.

4.3.2 NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES

L'une des plus graves conséquences de l'élévation du niveau de la mer est son effet sur les niveaux d'eau extrêmes. Ces niveaux sont généralement associés à la marée haute, à laquelle viennent s'ajouter les ondes de tempête. Les contributions de la variabilité saisonnière et annuelle et de la mer du vent jouent également un rôle. Dans le Pacifique, les grands événements d'ENSO peuvent entraîner des changements de plusieurs dixièmes de centimètres du niveau de la mer (Thomson et al., 2008). Une onde de tempête est définie comme étant la différence entre le niveau d'eau observé et la marée astronomique prévue, et elle doit son origine à des variations dans la pression atmosphérique et le vent. Les ondes de tempête au Canada ont une hauteur maximale d'un mètre ou plus sur les trois côtes (Bernier et Thompson, 2006; Manson et Solomon, 2007; Thomson et al., 2008). Les niveaux d'eau extrêmes (onde de tempête et marée combinées) seront encore plus élevés à l'avenir

du fait de l'élévation du niveau de la mer (encadré 9). Les niveaux d'eau extrêmes sont un aspect important dont il faut tenir compte en matière de gestion côtière et de planification de l'adaptation au climat, tel qu'il en sera question au chapitre 3.

Avec davantage d'énergie thermique dans des conditions atmosphériques plus chaudes, on s'attend à une augmentation de l'activité orageuse à l'échelle mondiale. Toutefois, à un endroit donné, l'activité orageuse peut soit rester la même, soit augmenter en fonction de sa position par rapport aux régions et aux trajectoires sources de tempêtes. Il y a un *niveau de confiance élevé* dans le fait que les augmentations des niveaux d'eau extrêmes découlent principalement des augmentations du niveau relatif moyen de la mer et de la réduction de la glace de mer, mais un *niveau de confiance faible* est attaché aux prévisions de l'activité orageuse et des ondes de tempête connexes propres à une région (GIEC, 2013).

ENCADRÉ 9

NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES HISTORIQUES ET NIVEAUX FUTURS PRÉVUS – EXEMPLE D'HALIFAX, EN NOUVELLE-ÉCOSSE

La répartition historique de la fréquence du niveau d'eau horaire maximal annuel (niveau d'eau horaire le plus élevé pendant chaque année civile) découlant des effets combinés des marées et des ondes de tempête à Halifax en mètres au-dessus de la moyenne paraît à la figure 25 pour la période s'étendant de 1920 à 2007 (Forbes et al., 2009). Le niveau d'eau extrême record de 1,87 m a été associé à l'ouragan Juan en 2003. Le niveau d'eau record antérieur dans le port d'Halifax était moins élevé d'environ 4 cm et s'est produit lors d'une tempête hivernale en 1967. En présumant que la fréquence, l'intensité et la trajectoire des tempêtes ne changent pas (c.-à-d. en présumant que la forme de la répartition des niveaux d'eau extrêmes dessinée par la ligne rouge de la figure 25 reste la même), le niveau d'eau maximal pour une tempête à période de récurrence de 50 ans peut être obtenu en ajoutant 1,74 m à tout niveau d'eau moyen futur. Par exemple, en présumant une élévation du niveau de la mer de 40 cm entre 2010 et 2050, soit environ la limite supérieure du scénario à émissions élevées (RCP8.5) de James et al. (2014), la courbe de répartition sera déplacée vers le haut de ce montant (ligne pointillée brune suivant la même courbe) et le niveau d'eau se produisant une fois sur 50 ans en 2050 sera plus élevé de 40 cm (dépassant de beaucoup le niveau d'eau record actuel). La courbe de 2050 se trouve beaucoup plus à gauche, ce qui démontre que le niveau d'eau extrême se produisant une fois tous les 50 ans actuellement aurait une période de récurrence (intervalle de récurrence moyen) de moins de 2 ans dans

40 ans, et que le niveau d'eau maximal enregistré actuel (le niveau d'eau associé à l'ouragan Juan) se produirait en moyenne plus d'une fois tous les 5 ans. En extrapolant les données jusqu'à la fin du siècle, ces niveaux se produiraient encore plus souvent. Là où les changements climatiques engendrent un changement au niveau de la climatologie des tempêtes, on peut s'attendre à ce que cela modifiera également la forme de la répartition des niveaux d'eau extrêmes. Toutefois, dans presque tous les cas, l'élévation du niveau de la mer demeurera le facteur dominant (Bernier et Thompson, 2006; Bernier et al., 2007).

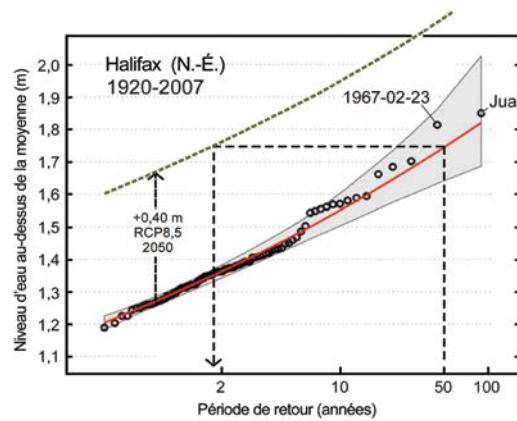


FIGURE 25 : Niveaux d'eau horaires maximaux annuels (mètres au-dessus du niveau moyen) au port d'Halifax, en Nouvelle-Écosse, entre 1920 et 2007, et périodes de retour connexes en années. La ligne rouge est celle qui détermine au mieux les observations et a été obtenue au moyen d'un modèle mathématique (répartition généralisée des valeurs extrêmes) avec un intervalle de confiance de 95 % (enveloppe ombrée; figure gracieuseté de K. Thompson, Université Dalhousie). On voit ainsi l'intervalle de récurrence moyen pour tout niveau d'eau maximal annuel donné aujourd'hui et le changement dans la période de récurrence qui découle d'une élévation du niveau moyen de la mer (tiré de Forbes et al., 2009).

La variabilité interannuelle et saisonnière, les seiches de havre, les vagues provoquées par le vent, la surélévation de la surface libre et le jet de rive sont tous des facteurs contribuant aux niveaux d'eau extrêmes. L'élévation de la surface de l'océan varie à des échelles temporelles allant d'heures à des années en raison de la circulation atmosphérique et océanique et de la variabilité. Cette dernière peut découler d'événements ENSO, ODP et NAO (encadré 5), du réchauffement et de l'écoulement saisonnier, des tempêtes et des changements dans la circulation océanique. Sur la côte du Pacifique, le niveau de la mer s'élève généralement au cours d'une phase positive de l'ODP en été et d'une phase chaude (positive) d'El Niño en hiver (Abeyssirigu-nawardena et Walker, 2008). Les événements ENSO extrêmes peuvent entraîner un changement du niveau de la mer côtier de quelques dixièmes de centimètres, tel qu'illustre à la figure 19 (p. ex. importante excursion positive du niveau de la mer à des sites de la région de la côte Ouest à la fin de 1997 et au début de 1998). Ensemble, ces facteurs produisent une variabilité à court terme de grande amplitude qui fait varier considérablement les niveaux d'eau maximums pendant l'année et d'une année à l'autre. Leur forte variabilité s'ajoute à l'élévation lente du niveau moyen de la mer, ce qui engendre des niveaux d'eau de plus en plus élevés au fil du temps, là où le niveau relatif de la mer s'élève.

À l'échelle mondiale, la vitesse du vent et la hauteur des vagues ont augmenté au cours des dernières décennies (Young et al., 2011). Les vagues océaniques sont le résultat de l'action combinée de la houle se déplaçant sur de longues distances et des vagues provoquées par le vent à l'échelle locale. Sur la plus grande partie des océans du monde, l'énergie des vagues océaniques est régie par la houle (Fan et al., 2014), même si sa contribution chute à environ 50 % pour la plupart des saisons dans l'Atlantique Nord. Les changements à long terme (décennaux) dans la hauteur des vagues de l'hémisphère Nord, qui sont étroitement liés aux événements d'ENSO et d'ODP dans le Pacifique et aux événements NAO dans l'Atlantique, affichent des augmentations dans les deux bassins océaniques au cours des 50 dernières années (Gulev et Grigorieva, 2004, 2006; Wang et al., 2012). Les prévisions de la hauteur des vagues donnent des résultats mitigés jusqu'à maintenant (Hemer et al., 2012, 2013; Fan et al., 2014; Wang et al., 2014a; Vose et al., 2014), même si dans une grande partie de l'Arctique, y compris la mer de Beaufort, les effets combinés des vents et des concentrations réduites de glace de mer prévues permettent de prévoir des augmentations de la hauteur des vagues (Khon et al., 2014). Une houle modeste a été observée ces dernières années dans la mer de Beaufort et a été liée à la réduction de la glace de mer (Thomson et Rogers, 2014). La hauteur accrue des vagues contribue à l'augmentation de la formation et de la remontée des vagues, et des vagues plus grosses peuvent avoir un plus grand pouvoir érosif.

Les changements dans la couverture de glace de mer ont des répercussions importantes au niveau des vagues provoquées par le vent qui atteignent la côte et, par conséquent, ont un effet sur les niveaux d'eau extrêmes dans les régions de la côte Nord et de la côte Est. La glace de mer sublittorale empêche les vagues de venir se briser directement sur la grève et réduit la dynamique de jet de rive (Forbes et Taylor, 1994; Allard et al., 1998). La glace plus au large reflète les vagues et en réduit l'amplitude avant qu'elles n'atteignent la côte (Wadhams et al., 1988; Squire, 2007). Davantage d'eau libre aura pour conséquence des vagues plus grosses même si aucun changement ne

se produit au niveau des vents. Par conséquent, dans les régions où une réduction de la glace de mer est prévue, comme le Canada atlantique et l'Arctique, il y a un potentiel d'augmentation des niveaux d'eau extrêmes en raison de la remontée des vagues.

4.3.3 PRÉVISIONS DU NIVEAU DE LA MER AU-DELÀ DE L'AN 2100

Le niveau de la mer à l'échelle mondiale continuera d'augmenter au-delà de 2100. Les prévisions présentées à la figure 26 s'appuient sur les concentrations de dioxyde de carbone en 2100 (Church et al., 2013a). Les estimations de l'élévation prévue du niveau mondial de la mer jusqu'à 2500 varient de moins de 1 m pour les scénarios à émissions faibles² (y compris le RCP2.6), de 1 à 2 m pour les scénarios à émissions modérées (y compris le RCP4.5) et de plusieurs mètres pour les scénarios à émissions élevées (y compris le RCP8.5, figure 26). Un niveau de confiance moyen est accordé aux prévisions jusqu'à 2300 et un niveau de confiance faible est accordé aux années ultérieures (GIEC, 2013).

Les schémas généraux de changement prévu du niveau relatif de la mer au Canada au-delà de 2100 seront semblables aux schémas du niveau historique de la mer et des prévisions notées pour le siècle en cours. L'élévation du niveau de la mer est fonction dans une très grande mesure des concentrations atmosphériques futures de dioxyde de carbone. Les endroits où les terres se soulèvent rapidement connaîtront une élévation réduite ou une diminution du niveau de la mer, selon le taux de soulèvement des terres et l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale. Par contre, les endroits qui s'affaissent actuellement connaîtront une élévation du niveau relatif de la mer plus importante que la valeur mondiale. Certaines parties des Provinces maritimes, la côte de la mer de Beaufort et les basses-terres du fleuve Fraser sont les endroits les plus susceptibles de connaître une élévation du niveau relatif de la mer plus importante que la moyenne mondiale.

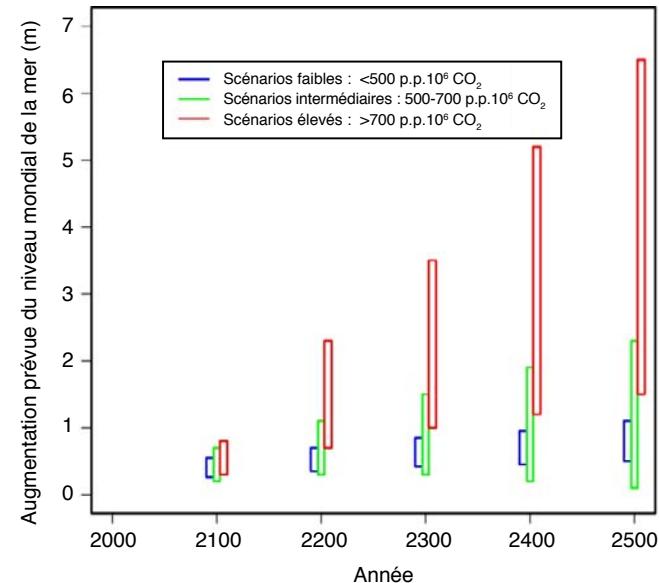


FIGURE 26 : Changement prévu du niveau de la mer à l'échelle mondiale de 2100 à 2500, en fonction des concentrations de dioxyde de carbone en 2100 (fondée sur la figure 13.13 de Church et al., 2013a). Voir la note en bas de page 2.

² Les scénarios à émissions faibles, modérées et élevées définis dans la présente section s'appuient sur les concentrations de CO₂ et se réfèrent à la figure 13.13 de Church et al. (2013a); en outre, ils ne correspondent pas exactement aux définitions utilisées ailleurs dans le présent rapport.

5 RÉACTION DE LA CÔTE À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER ET AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

5.1 RÉACTION PHYSIQUE

Dans cette section, nous nous penchons sur les répercussions de l'élévation du niveau de la mer et des changements climatiques en matière d'érosion côtière et de recul du littoral, d'inondation à court terme due aux tempêtes et d'inondation à long terme des côtes naturelles et aménagées. L'importance de ces impacts en ce qui a trait à la gestion côtière est abordée dans les chapitres subséquents (voir les chapitres 3 à 6).

L'élévation du niveau moyen de la mer prévue pour les décennies à venir (section 4) aura peu d'effet sur beaucoup de côtes naturelles, qui s'ajusteront de manière naturelle à l'éventail changeants des niveaux d'eau et des conditions des vagues. Toutefois, dans certaines régions de faible altitude, les impacts de l'élévation du niveau moyen de la mer seront plus évidents, où l'on verra les marais salés être repoussés vers l'intérieur des terres en remontant les vallées (en présumant qu'il y aura suffisamment d'espace libre), la migration vers l'intérieur des terres des flèches et des cordons littoraux ainsi que des systèmes de dunes connexes, la destruction des arbres causée par l'intrusion d'eau salée et la conversion de la toundra subaérienne en marais salés. La réaction particulière de ces composantes dynamiques du système côtier dépendra en partie d'un vaste éventail de facteurs comme l'étendue sans cesse changeante de la glace de mer, les conditions des vagues, la productivité biologique et les budgets de sédiments. Les polygones de toundra inondés, qui sont des éléments typiques de ce paysage mais qui ne peuvent pas se former sous l'eau (figure 27), témoignent clairement de l'inondation lente de la toundra basse longeant la côte de la mer de Beaufort et de la partie extérieure du delta du Mackenzie.

Les changements dans le niveau moyen de la mer et le taux d'érodabilité du littoral (qui dépend de la géologie, de l'énergie des vagues et d'autres facteurs) sont les deux principaux facteurs de contrôle de la stabilité à long terme ou de la migration des littoraux maritimes parce qu'ils ont une incidence sur l'apport en sédiments. En l'absence d'autres facteurs, l'élévation du niveau de la mer se solde éventuellement par l'inondation de la topographie de l'arrière-plage et la vitesse de recul du littoral dépend alors du changement dans le niveau de la mer et de la pente de la surface terrestre, tel qu'en fait preuve l'évolution à long terme des côtes du Canada atlantique (figure 4). Toutefois, si l'apport en sédiments est suffisant pour contrer la migration vers l'intérieur des terres liée à l'élévation du niveau de la mer, le littoral peut demeurer stable ou avancer vers la mer à mesure que les sédiments s'y accumulent de façon à pouvoir suivre le rythme de l'élévation du niveau de la mer (Curry, 1964). On peut en voir des exemples dans les secteurs où les sédiments locaux sont abondants dans diverses régions en cours de submersion au Canada. De petits cordons littoraux sur la côte ouest de l'île Banks (figure 28), une vaste pointe à l'extrémité nord de l'île de Baffin, au Nunavut (St-Hilaire-Gravel et al., 2015) et de nombreux petits cordons d'accumulation périglaciaires en fond



FIGURE 27 : Polygones de toundra inondés en raison de l'élévation du niveau de la mer, sur la côte de la mer de Beaufort près de la baie Hutchison dans la péninsule Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest. Photo gracieuseté de D. Whalen, Ressources naturelles Canada, août 2013.



FIGURE 28 : Perspective nord d'un cordon littoral d'accumulation à Lennie Harbour, sur la côte ouest de l'île Banks, Territoires du Nord-Ouest, illustrant comment l'apport en sédiments excédentaires de cette échancrure a contré les effets de l'élévation du niveau de la mer. Les crêtes de plage les plus anciennes de la partie interne du cordon (à droite) se sont formées lorsque le niveau de la mer était plus bas et ont maintenant une élévation de crête moins élevée que la crête de tempête active à gauche. Photo gracieuseté de D.L. Forbes, Ressources naturelles Canada, juillet 2002.

de baie dans le Canada atlantique témoignent de l'importance de l'apport en sédiments (Forbes et al., 1995b; Orford et al., 2001; Forbes, 2011).

Les rivages en pente peu profonds soumis à l'action des vagues sont des systèmes dynamiques mettant en cause une transformation par les vagues et une circulation sublittorale complexes. L'élévation du niveau de la mer entraînera une redistribution des sédiments le long de ces côtes — sous sa forme la plus simple, les sédiments seront érodés et peuvent être déposés au large jusqu'à ce qu'une nouvelle avant-place équilibrée soit établie. C'est la prémissse qui sous-tend un modèle géométrique simple proposé par Bruun (1954, 1962). Même si plusieurs présomptions sous-jacentes du modèle sont rarement satisfaites, ce modèle est tout de même utilisé de manière généralisée, et souvent inapproprié, en raison de sa simplicité (Cooper et Pilkey, 2004; New Zealand

Ministry for the Environment, 2008). On compte au nombre des facteurs susceptibles de modifier la réaction du littoral, les complexités du profil sublittoral (affleurements de roche du substratum, types de roche variés), les tendances des vents côtiers et la variabilité au niveau du transport littoral, la perte en direction de la terre de sable ensuite incorporé aux dunes côtières ou la submersion des cordons par les vagues.

Prévoir le recul côtier n'est pas chose aisée et exige d'analyser les impacts des tempêtes et des changements dans les taux d'érosion historiques en conjonction avec l'élévation du niveau de la mer (Cambers, 2009; Daniel et Abkowitz, 2005; Gibbs et Hill, 2011; Government of Western Australia, 2006; New Zealand Ministry for the Environment, 2008). Les facteurs supplémentaires comprennent l'enchaînement des tempêtes (Phillips, 1999; Forbes et al., 2004), les changements dans les taux de gel-dégel et la dégradation hivernale de la pente (Bernatchez et Dubois, 2008), les changements dans les taux d'abrasion thermique dans le pergélisol riche en glace (liés à l'augmentation de la température de l'air, de la mer et du sol; p. ex. Aré [1988], Wobus et al. [2011], Barnhart et al. [2014a]) et dans l'énergie des vagues (liés à la répartition changeante de la glace de mer; p. ex. Overeem et al. [2011], St-Hilaire-Gravel et al. [2012], Barnhart et al. [2014b]). Certaines données nécessaires à ces analyses, comme les photographies aériennes historiques et les registres sur les vagues et les tempêtes, peuvent être facilement disponibles alors que d'autres, comme les prévisions de la fréquence, la gravité et le régime des vagues futurs des tempêtes devront être acquises pour un site donné. Les complexités associées au retrait côtier comprennent le transport littoral variable (p. ex. plage East dans l'archipel Haida Gwaii; encadré 2 et figure 8), le transport des sédiments vers la terre qui, dans le cas d'une transgression (côtes en recul), peut s'avérer important (Davidson-Arnott, 2005; Rosati et al., 2013), les profils hérités d'avant-plage formée par érosion et les changements dans la lithologie à mesure que la côte recule.

Les récents travaux concernant la prévision des profils côtiers en évolution peuvent offrir de meilleurs outils pour comprendre le recul côtier. Les travaux théoriques de Wolinsky (2009) et leur application aux côtes dominées par les vagues (Wolinsky et Murray, 2009) proposent une nouvelle approche de la modélisation du comportement côtier à long terme. Un modèle proposé par Leont'yev (2003, 2004) adopte une approche de recul du profil tenant compte de la glace terrestre qui semble prometteuse aux fins de prévision du recul du littoral sur les côtes de pergélisol de la mer de Beaufort.

Les indices recueillis sur le terrain de la réaction des côtes au changement climatique et à l'élévation du niveau de la mer comprennent plusieurs études ayant documenté l'érosion accélérée de certaines des parties les plus vulnérables du versant nord de l'Alaska (Mars et Houseknecht, 2007; Jones et al., 2009; Overeem et al., 2011; Barnhart et al., 2014a). Jusqu'à récemment, les études portant sur les côtes canadiennes n'avaient pu révéler une accélération statistiquement significative de l'érosion côtière (p. ex. Solomon, 2005; Konopczak et al., 2014). Toutefois, de nouvelles observations semblent indiquer une importante accélération du recul côtier dans certaines parties de la région canadienne de la mer de Beaufort (Whalen et al., 2012) et de l'Île-du-Prince-Édouard (Webster, 2012). Il est important de reconnaître que les comparaisons faites en fonction d'intervalles de temps différents ou de

décennies individuelles rendent la distinction entre un changement possible dans les tendances et une réflexion de la variabilité à l'échelle décennale difficile (Forbes et al., 1997). Les régions ayant les taux de recul du littoral les plus élevés au Canada (principalement les zones rouges de la figure 7) réagissent à l'élévation du niveau de la mer depuis très longtemps et la récente accélération de l'élévation du niveau de la mer peut ne pas encore être assez importante ou soutenue pour provoquer une réaction mesurable dans les processus côtiers. La grande variance spatiale et temporelle caractérisant le recul du littoral (encadré 10) rend également la détection des changements dans les taux d'érosion difficile.

5.2 RÉACTION ÉCOLOGIQUE

5.2.1 COMPRESSION CÔTIÈRE

Un aspect important de la réaction des systèmes côtiers à l'élévation du niveau de la mer est la perte potentielle d'un habitat important en raison du phénomène appelé « compression côtière ». Les composantes côtières comme les estuaires, les vasières et les marais littoraux, qui fournissent de précieux services écosystémiques, occupent la zone de transition entre la terre et la mer. Dans des conditions d'élévation du niveau de la mer, les vasières et les marais littoraux de zone intertidale peuvent conserver leur superficie par accrétion verticale de façon à suivre le rythme de l'élévation du niveau de la mer ou par migration vers l'intérieur des terres à mesure que les niveaux d'eau croissants suivent une pente ascendante.

Les marais littoraux ont un potentiel d'accrétion verticale grâce à leur productivité biologique accrue et à la rétroaction entre la croissance de la végétation du marais salé et l'accumulation de sédiments, mais cette réaction peut s'avérer complexe (McKee et al., 2012) et la réaction du marais en question peut accuser un retard considérable (Kirwan et Murray, 2008a). L'établissement d'une nouvelle région de marais en amont de la pente (ou de la vallée) peut compenser l'inondation de la plate-forme originale du marais par la conversion d'anciennes zones terrestres ou d'anciennes terres humides en marais salés dans le nouvel intervalle des niveaux de marée appropriés. L'introduction du processus d'inondation par les marées dans les zones de terres humides non tidales peut également améliorer les taux de sédimentation (p. ex. Orson et al., 1990). L'étendue du nouveau système de marais dépend de l'espace dont cette migration du système côtier peut disposer sur la pente terrestre. Même si un relief d'arrière-plage élevé peut limiter la migration vers la terre des vasières et des marais, les obstacles artificiels comme les routes, les routes en remblai, les ouvrages longitudinaux, les digues et le remplissage de fondation sont les principales causes de compression côtière. Les limites supérieures de diverses zones de végétation intertidale associées à des fréquences particulières d'inondation par les marées (comme les vasières, les marais bas, les marais de transition et les hauts marais) se déplacent vers la terre à mesure que le niveau de la mer s'élève (encadré 11). Si le biome de haut marais ne peut pas se déplacer vers la terre en raison d'obstacles naturels ou artificiels, mais que le marais de transition se déplace vers l'intérieur des terres et empiète sur la zone du haut marais, cela entraînera la perte du haut marais et une perte de superficie générale de marais (Kirwan et Murray, 2008b; Hill et al., 2013).

ENCADRÉ 10

VARIABILITÉ TEMPORELLE DES TAUX D'ÉROSION

L'analyse multitemporelle photogrammétrique d'un tronçon de 12 km de la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard présente des schémas distinctifs de réaction temporelle et spatiale à l'élévation du niveau de la mer en fonction de la géologie et de la géomorphologie côtières (figure 29; Forbes et al., 2002; Forbes et al., 2004). Cela démontre l'importance du rôle que jouent les facteurs géologiques locaux, en plus des tempêtes et des agents de forçage des vagues, dans la détermination du rythme et de la variabilité du changement côtier. La grande variabilité temporelle rend difficile la détection d'un changement dans le taux à long terme de recul de la côte qui pourrait être attribuable aux changements climatiques récents.

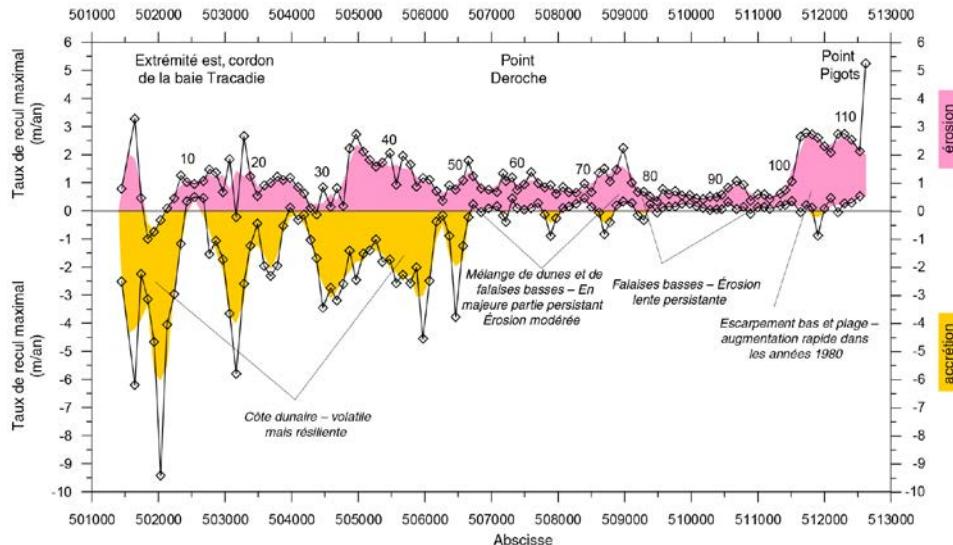


FIGURE 29 : Ensemble des taux d'érosion et d'accréition relevés sur des photos aériennes prises à divers intervalles entre 1935 et 1990 à 112 transects d'un tronçon de 12 km de côte à cordon dunaire et falaises basses entre l'est de la baie Tracadie et Points Pigot, sur la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard. Source : Forbes et Manson (2002). Les valeurs négatives représentent l'accréition, qui elle-même consiste principalement en un rétablissement des dunes plutôt qu'une avancée du littoral.

En Nouvelle-Écosse, plus de la moitié des 33 000 ha de marais salés est endiguée (Roberts et Robertson, 1986). Cela semble indiquer que, même si le taux d'accréition naturelle des marais de la partie extérieure de la baie de Fundy suit le rythme de l'élévation historique du niveau de la mer (Chmura et al., 2001), une élévation accélérée du niveau de la mer peut présenter un risque de perte de marais par la compression côtière (Chmura, 2013). Afin de pouvoir traiter de cette question, Torio et Chmura (2013) ont mis au point un « indice de compression côtière » qui permet de classer la menace de compression pesant sur des marais ou des groupes de marais particuliers en fonction de divers scénarios d'élévation du niveau de la mer et divers contextes physiographiques. Dans de nombreux cas, une combinaison d'élévation du niveau de la mer et de compression côtière conjuguée à d'autres facteurs entraînant la dégradation des marais peut se traduire par une perte rapide de zone de marais en quelques décennies (Hartig et al., 2002).

La compression côtière n'est pas limitée aux milieux de marais, mais peut porter atteinte à d'autres composantes du système côtier, qu'il s'agisse d'estuaires, de prairies de zostère ou de plages. Les structures de protection côtières qui tentent de fixer le littoral en place peuvent être menacées au fil du temps alors que la plage qui leur fait face devient plus étroite ou disparaît tout à fait.. Ainsi, les impacts négatifs de la compression côtière peuvent accroître

l'exposition et, peut-être, compromettre la stabilité des structures barrières elles-mêmes ou des infrastructures critiques qu'elles protègent, alors que l'efficacité du tampon sédimentaire naturel offert par une plage diminue (Jolicoeur et O'Carroll, 2007; Bernatchez et Fraser, 2012).

5.2.2 DUNES CÔTIÈRES

Les dunes se développent sur les côtes ayant un apport de sédiments excédentaires et des vents capables de déplacer le sable sur la grève de façon à ce qu'il puisse être stocké dans un réseau de dunes. Le développement et la conservation des dunes exige un apport de sable, un budget sédimentaire positif et, généralement, de la végétation pour piéger et maintenir le sable dans les dunes. Carter (1991) a établi une distinction entre la végétation servant à fixer le sable, comme *Atriplex* sp., et les herbes servant à accumuler le sable, comme *Ammophila* spp. ou *Elymus arenarius*. Les dunes établies peuvent être colonisées par une grande variété d'autres plantes herbacées et ligneuses, ce qui a pour effet de diminuer progressivement la mobilité des dunes (McCann et Byrne, 1989). Dans certains cas, les dunes envahissent ou submergent les forêts ou les boisés se trouvant derrière la plage (Heathfield et al., 2013).

ENCADRÉ 11

COMPRESSION CÔTIÈRE

La zone intertidale du delta du fleuve Fraser, en Colombie-Britannique, est une zone de grande valeur écologique. Des prairies de zostère (*Zostera marina* et *Zostera japonica*), des vasières et les biofilms de diatomée qui y sont associés de même que diverses zones des marais littoraux végétalisés fournissent un habitat de frai et abritent un grand nombre d'invertébrés, de poissons et d'oiseaux de diverses espèces. La réaction sédimentaire et biologique de ces composantes du système intertidal à l'élévation du niveau de la mer est non seulement compliquée par des facteurs supplémentaires comme l'apport réduit en sédiments (en raison du dragage des chenaux) et le broutage de la plante dominante des marais bas, *Scirpus americanus*, par les oies (Kirwan et al., 2008; Hill et al., 2013), mais est également modérée par la productivité de la biomasse, le piégeage des sédiments et l'accrétion verticale. La transgression vers la terre des zones de végétation de marais est bloquée par des digues sur la majeure partie du front du delta du Fraser, ce qui entraînera une perte considérable de marais au cours du siècle à venir selon un éventail de scénarios d'élévation du niveau de la mer. En utilisant les taux « médian » et élevé des prévisions plus anciennes de l'élévation du niveau de la mer (GIEC, 2001), Kirwan et Murray (2008b) ont calculé des pertes de marais de 15 à 35 % sur l'île Westham (centre du front du delta du fleuve Fraser), qu'ils estiment être à 70 % attribuables à la présence de la digue (figure 30). La plante dominante de haut marais, *Scirpus maritimus*, est plus productive que *S. americanus*, donc la perte préférentielle de zones de haut marais nuit également à la capacité générale de croissance et de piégeage des sédiments (Hill et al., 2013). La même étude a conclu qu'une élévation de 55 cm du niveau moyen de la mer entraînerait une perte de 41 % des hauts marais, une expansion de 15 % de la zone de marais de transition, une perte de 22 % des marais bas (au profit de l'eau libre) et une perte générale de 20 % des marais comme tels, avec une réduction de la productivité de la biomasse de 21 %.

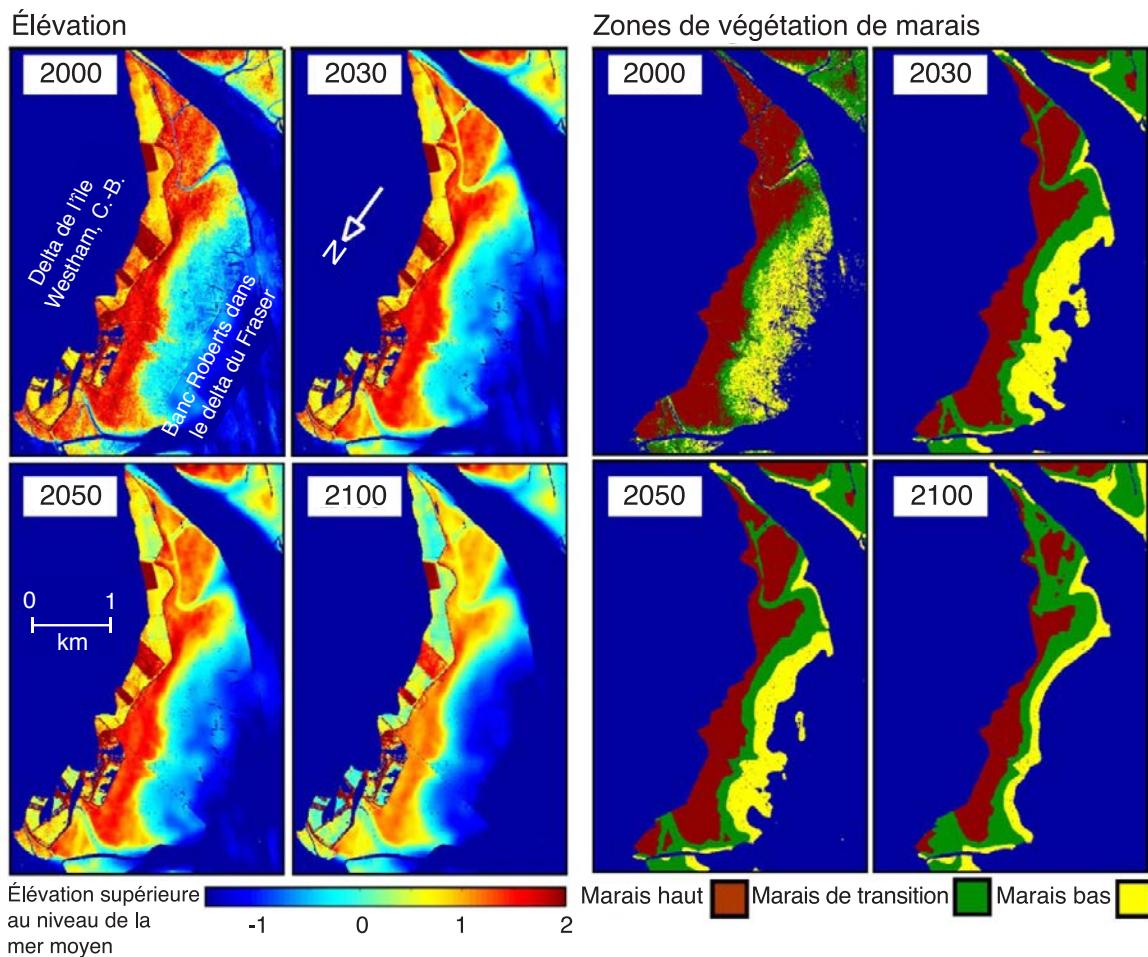


FIGURE 30 : Modèle altimétrique numérique et zones de végétation de marais prévues tirés de données LiDAR, dans l'île Westham, dans le delta du fleuve Fraser, en Colombie-Britannique, en fonction du « scénario médian d'élévation du niveau de la mer ajusté en fonction du taux de subsidence local » (extrait modifié tiré de Kirwan et Murray, 2008b). La perte des zones de hauts marais et de marais bas est à remarquer, y compris le fait qu'une grande partie de la perte des hauts marais est attribuable à la présence de digues et à la compression côtière.

Les dunes offrent de précieux services écosystémiques sous forme de protection de la côte, à titre d'ouvrage longitudinal et de tampon contre l'érosion naturels, stockant du sable qui est mobilisé lors des tempêtes et peut par la suite être restitué aux dunes (Ollerhead et al., 2013), formant ainsi un « système côtier auto-compensateur » (Carter, 1991). Les réseaux de dunes perméables peuvent également aider à entraver l'intrusion saline en protégeant une lentille d'eau souterraine dont la recharge est facilement assurée par les précipitations et qui se décharge sur la plage ou la zone sublittorale. Les complexes côtiers de plage sablonneuse et de dunes abritent un éventail de communautés végétales et d'habitats distincts et offrent un important habitat de nidification pour des espèces comme le pluvier siffleur (*Charadrius melanodus*) et certains oiseaux chanteurs. Les petites terres humides d'eau douce dans les dépressions dunaires constituent un autre habitat distinct lié aux dunes.

La sensibilité des dunes aux changements climatiques peut avoir un lien avec l'élévation du niveau de la mer et l'érosion, avec des changements possibles dans le régime éolien et avec la réaction de la végétation dunaire aux changements dans la saisonnalité, la température, les précipitations, le CO₂ et d'autres facteurs comme les perturbations et les stratégies de gestion. Les systèmes dunaires canadiens, à tout le moins dans l'est et le nord, sont modifiés par le gel hivernal et le manteau neigeux, qui peuvent limiter la mobilité du sable (lorsque la plage et le front des dunes sont gelés) et retarder la croissance des herbes dunaires (McCann, 1990). Dans un climat plus chaud, la saison de mobilité active du sable et de productivité biologique peut être plus longue, et la productivité peut augmenter. L'aire de répartition nordique d'*Ammophila* spp. pourrait également s'étendre.

Même dans le régime climatique actuel, les dunes côtières dans certaines parties du Canada sont vulnérables à une dégradation généralisée en réaction aux grosses tempêtes et aux successions de tempêtes (Forbes et al., 2004; Mathew et al., 2010), bien que le pâturage du bétail dans le passé peut avoir joué un rôle dans la dégradation des dunes au XIX^e siècle et au début du XX^e siècle. Les dunes modernes le long de certaines parties de la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard se sont reconstituées au cours des 90 années écoulées depuis le dernier principal épisode de dégradation et certaines régions, comme le cordon traversant la baie Tracadie, présentent encore aujourd'hui des brèches créées par de grands chenaux de débordement (figure 5). L'élévation accélérée du niveau de la mer et la réduction de la glace de mer hivernale dans le golfe du Saint-Laurent, combinées à un complexe glaciaire et un pied de glace sublittoral moins bien développés et moins durables, font que la probabilité de la manifestation d'ondes de tempêtes accompagnées de grosses vagues et de raclage des dunes augmente (Forbes et al., 2002, 2004). Sur la côte du Pacifique, l'érosion des avant-dunes sur la côte ouest de l'île de Vancouver est attribuable à des facteurs liés à la variabilité climatique, y compris les niveaux d'eau accrus, les tempêtes et les ondes de tempêtes associées aux événements de l'ENSO et de l'ODP. Avec une ODP positive fait que la fréquence et l'intensité des épisodes d'ENSO et des impacts connexes sur le système de plage et de dunes ont augmenté, avec un intervalle de récurrence d'érosion locale des dunes de 1,53 an (Heathfield et al., 2013). Toutefois, un niveau relatif de la mer en baisse et un apport considérable de sable sur la côte contribuent à accélérer le processus d'accrédition littorale, lequel est renforcé par la capacité de piégeage des sédiments de gros débris ligneux (Eamer et Walker, 2010).

5.2.3 TERRES HUMIDES CÔTIÈRES, REPLATS DE MARÉE ET EAUX CÔTIÈRES PEU PROFONDES

Les terres humides d'eau saline, d'eau saumâtre ou d'eau douce fournissent d'importants services écosystémiques : protection de la côte; prestation d'habitats de frai et d'alevinage pour les espèces aquatiques, y compris les poissons commerciaux; prestation d'habitats essentiels de nidification et d'alimentation pour de nombreux types d'oiseaux; absorption des nutriments; rétention des sédiments. En outre, les marais salés côtiers peuvent constituer d'importants puits de carbone, stockant plus de carbone par unité de surface que les tourbières d'eau douce et permettant à peu de gaz à effet de serre de s'échapper (Chmura et al., 2003).

La stabilité des marais salés dans le contexte des changements climatiques est altérée par les changements dans le niveau de la mer et la fréquence des inondations, les changements en matière de salinité, de température, de pH et d'apports en eau douce, les charges de nutriments et de polluants, les taux d'apport en sédiments, de productivité végétale et d'accrédition, à la compression côtière, l'érosion frontale, les effets directs et indirects de la glace marine de même que les perturbations attribuables au broutage aviaire, au drainage, à l'excavation, au remplissage, à l'endiguement et à d'autres aménagements en matière d'utilisation des terres. Là où l'apport en sédiments et la productivité biologique sont suffisants, le taux d'accrédition des marais salés peut s'avérer suffisamment rapide pour suivre le rythme de l'élévation du niveau de la mer, en créant d'épaisses couches de sédiments ou de tourbe riches en matière organique (p. ex. Shaw et Ceman, 1999). Toutefois, là où l'apport en sédiments minéraux est limité, l'accumulation organique peut ne pas être en mesure de suivre le rythme de l'élévation du niveau de la mer et un engloutissement graduel des terres humides côtières peut se produire.

Les répercussions de l'augmentation de la température et des changements au niveau des précipitations, de la salinité et du CO₂ sur la productivité des marais salés sont équivoques (McKee et al., 2012). Les résultats peuvent varier en fonction de la composition taxinomique, des conditions antérieures, des combinaisons particulières de salinité et de CO₂ et de la proximité des conditions limites pour chaque espèce (Erwin, 2009). Le moment et l'importance de l'apport d'eau douce dans les marais peuvent également avoir une influence importante sur la croissance du marais et cela peut dépendre non seulement des précipitations et du bilan hydrique régionaux, mais également des activités de mise en valeur et d'autres changements d'utilisation des terres dans les bassins hydrographiques adjacents (Scavia et al., 2002). Certaines terres humides côtières situées à proximité de grands deltas ou dans des zones de subsidence isostatique glaciaire régionale, comme la Nouvelle-Écosse, doivent faire concurrence avec des taux d'élévation du niveau relatif de la mer locaux considérablement plus élevés que la moyenne mondiale (Adam, 2002). Même si elles ont suivi le rythme en croissance verticale des taux passés d'élévation du niveau de la mer, il n'existe aucune garantie qu'elles continueront de le faire dans des conditions d'élévation accélérée du niveau de la mer au cours des décennies à venir. L'élévation du niveau de la mer augmente également la probabilité que des phénomènes extrêmes d'onde de tempête et d'inondation susceptibles d'introduire de l'eau salée dans les systèmes auparavant d'eau douce se produisent (p. ex. Pisaric et al., 2011).

Puisque l'on croit que le transport glacial améliore le taux d'apport de sédiments aux marais salés (Wood *et al.*, 1989; van Proosdij *et al.*, 2006), une réduction future de la glace marine entraînée par un climat plus chaud peut également se traduire par une diminution de l'apport de sédiments. Le rôle de la glace dans la redistribution et la propagation de la spartine des marais salés (*Spartina alterniflora*; van Proosdij et Townsend, 2006), de même que dans la dispersion des macro-invertébrés dans les zones intertidales (Drolet *et al.*, 2012), peut également être altéré par une présence réduite de glace (voir le chapitre 4). En même temps, la réduction de la couverture de glace pourrait contribuer à une augmentation de taux d'érosion du bord des côtes par les vagues en hiver.

Les replats de marée, en particulier dans la baie de Fundy et le delta du fleuve Fraser, offrent un habitat d'alimentation essentiel aux oiseaux migrateurs (Hicklin, 1987; Hill *et al.*, 2013). À l'échelle mondiale, on se préoccupe des pertes prévues d'habitats intertidaux pour les oiseaux (encadré 12; Galbraith *et al.*, 2002).

5.3 VISUALISATION DE L'INONDATION CÔTIÈRE

L'intérêt porté aux niveaux d'eau extrêmes découle de questions relatives non seulement à la hauteur ou à la fréquence des inondations, mais également à ce qui sera inondé. De grands travaux ont été entrepris au cours des 15 dernières années en vue de simuler les événements présents et futurs d'inondation dans

des collectivités ou d'autres contextes où des actifs précieux, y compris des habitats importants, sont susceptibles d'être touchés (encadré 13; voir le chapitre 3; Webster et Forbes, 2006; Bernier *et al.*, 2007; Forbes *et al.*, 2009; Bernatchez *et al.*, 2011).

6 RÉSUMÉ ET SYNTHÈSE

Les côtes maritimes canadiennes sont des systèmes très variables et naturellement dynamiques. Les impacts des changements climatiques, qui actuellement se manifestent surtout en termes de changements dans la couverture de glace de mer, deviendront plus prononcés au cours des décennies à venir. On s'attend à ce que la croissance des niveaux d'eau extrêmes entraîne une augmentation du taux d'érosion côtière. Les secteurs endigués, les régions côtières à faible relief et les côtes constituées de sédiments non lithifiés sont plus vulnérables à l'érosion que les côtes élevées et rocheuses. Dans l'Arctique, l'augmentation de la température de l'air et de l'eau continuera de dégrader et de dégeler le pergélisol, ce qui aura pour résultat d'ameublir les sédiments liés par la glace et de contribuer à l'érosion (Forbes, 2011). À court terme, la variabilité climatique, s'exprimant de manière saisonnière et par le biais de diverses oscillations interannuelles, continuera de jouer un rôle dominant en ce qui a trait à la température de l'air et de l'eau, la puissance des tempêtes, la hauteur des vagues, le niveau de la mer et d'autres facteurs pertinents pour les régions côtières du Canada.

ENCADRÉ 12

IMPACTS ÉCOLOGIQUES DANS LE DELTA DU FLEUVE FRASER

La présence de digues et l'élévation du niveau relatif de la mer sur les replats de la zone intertidale et les marais salés du banc Roberts (delta du fleuve Fraser, Colombie-Britannique) semble indiquer que la compression côtière pourrait entraîner d'importantes pertes de surface disponible pour les oiseaux migrateurs et hivernants (Hill *et al.*, 2013). En outre, il y a un conflit potentiel entre le besoin de terres derrière les replats de zone intertidale aux fins de conservation d'habitats aviaires et la grande valeur de ces terres en demande à d'autres fins. Hill *et al.* (2013) résument les prévisions des principaux impacts sur les grandes composantes du système intertidal comme suit :

- Marais – impacts négatifs (niveau de confiance faible à modéré) : érosion du marais attribuable à la compression côtière et un accroissement des attaques par les vagues, atténuée par l'accrétion naturelle du marais jusqu'à un taux seuil.
- Vasière – impacts négatifs (niveau de confiance faible) : réduction prévue de 45 à 63 % de la superficie en raison de la compression côtière, qui peut être atténuée par la sédimentation du territoire actuel du marais mais exagérée par l'augmentation de l'activité orageuse et de l'action des vagues de tempête.
- Zostère – aucun impact (niveau de confiance modéré à élevé) : les taux élevés d'expansion de la zostère laissent croire que celle-ci migrerait vers l'intérieur des terres pour suivre le rythme des changements en profondeur.
- Biofilm – impacts négatifs (niveau de confiance faible) : la superficie diminuera probablement en raison de la réduction de superficie des vasières; toutefois, l'augmentation de l'énergie des vagues pourrait entraîner un grossissement granulaire des sédiments et une réduction de la productivité du biofilm.
- Prédateur sur les oiseaux – impacts négatifs (niveau de confiance faible) : elle augmentera probablement en raison de la migration vers l'intérieur des terres des aires d'alimentation optimales.

Le faible niveau de confiance rapporté pour la plupart de ces impacts semble indiquer que davantage de travaux traitant des répercussions biophysiques directes et écologiques secondaires des changements climatiques sur les systèmes intertidaux et sublittoraux côtiers sont requis.

ENCADRÉ 13

SIMULATION D'INONDATION

Une technique de détection et télémétrie par ondes lumineuses (LiDAR) est employée pour créer des modèles numériques à haute résolution de la surface du terrain, y compris les bâtiments et les arbres s'il y a lieu; à partir de ces modèles, on peut tirer des modèles altimétriques numériques qui servent de base pour la simulation d'inondations (figure 31). Cette technique, maintenant répandue, a été mise au point au Canada il y a environ 15 ans (p. ex. Webster et al., 2002; Webster et Forbes, 2006).

Dans l'extract produit aux fins de communication publique, une image numérique peut être substituée pour permettre aux intervenants de comprendre les niveaux d'inondation historiques ou prévus par la reconnaissance de bâtiments ou d'autres éléments caractéristiques. Dans le cas de l'inondation historique de Tuktoyaktuk (figure 32), la visualisation illustre également les taux élevés d'érosion côtière historique. Le recul moyen à la pointe nord-ouest entre 1935 et 1971, avant plusieurs phases de protection de la côte, était de 3,8 m/an (Rampton et Bouchard, 1975). Au cours d'une seule tempête majeure en septembre 1970, cette même pointe a reculé de plus de 13 m en quelques heures (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 1971; Rampton et Bouchard, 1975).

Il est à remarquer que la plupart des simulations d'inondation utilisent des modèles d'eau calme qui tiennent compte des ouvertures comme les ponceaux et les ponts mais qui n'incluent pas la dynamique de l'écoulement. Dans certaines situations comportant des schémas d'écoulement irréguliers ou complexes, il peut être souhaitable d'incorporer un modèle dynamique, et la simulation ayant recours à un modèle d'eau calme peut surestimer l'importance de l'inondation (Webster et al., 2014).

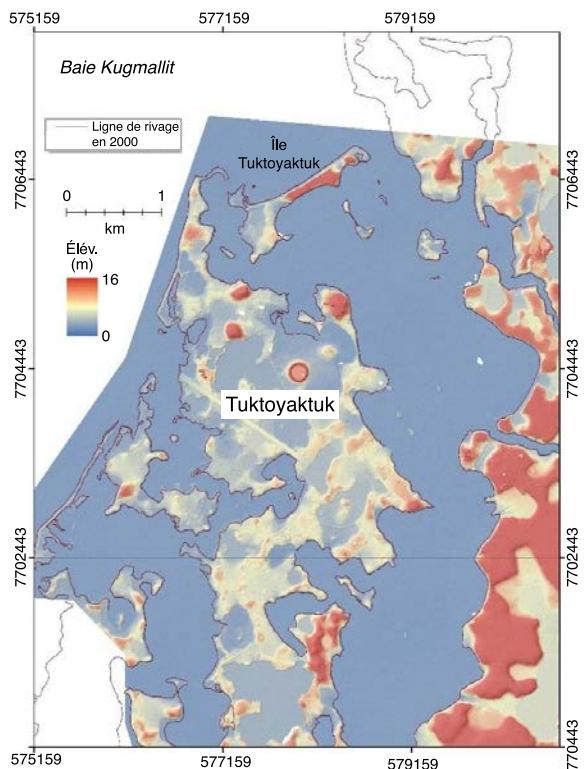


FIGURE 31 : Modèle altimétrique numérique tiré de données LiDAR pour Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest. Un modèle de terre nue duquel la végétation et les bâtiments ont été retirés sert de base pour la simulation d'inondations (figure 32). Source : Forbes et al. (2014b).

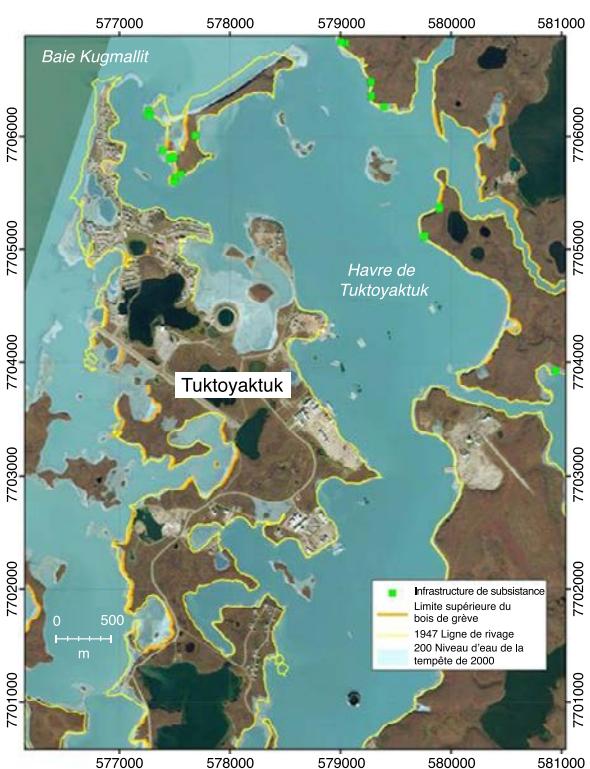


FIGURE 32 : Érosion côtière à long terme (1947 à 2010) et visualisation de l'inondation causée par la tempête de 2000 à Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest. Simulation d'inondation réalisée sur un modèle altimétrique numérique tiré de données LiDAR. Une image satellite à haute résolution prise en 2010 par GeoEye Inc. est insérée en arrière-plan pour faciliter l'interprétation par le public. Source : Forbes et al. (2013). Contient des renseignements protégés par le droit d'auteur appartenant à Digital Globe Inc.

Les changements à long terme dans la fréquence et l'intensité des inondations et des niveaux d'eau côtiers extrêmes au Canada découleront principalement des changements dans le niveau moyen de la mer, même si les marées, la glace de mer, les ondes de tempête et les vagues continueront de jouer des rôles de premier plan. Les taux importants de changement historique dans le niveau relatif de la mer, en grande partie liés aux ajustements isostatiques glaciaires, sont très variables d'un endroit à l'autre au Canada (p. ex. >3 mm/an d'élévation du niveau de la mer à Halifax, en Nouvelle-Écosse, et >9 mm/an de chute du niveau de la mer à Churchill, au Manitoba, au cours du siècle dernier), ce qui rend la détermination des effets de l'élévation accélérée du niveau de la mer associée aux changements climatiques difficile. Ces impacts se feront plus évidents au cours des décennies à venir, à mesure que les taux d'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale continuent de croître. Les régions qui connaissent une élévation du niveau moyen de la mer verront de plus en plus souvent des niveaux d'eau qui provoquent aujourd'hui des inondations de même que des niveaux d'eau extrêmes plus élevés.

À court terme, les impacts les plus évidents des changements climatiques sur les côtes du Canada se manifesteront sous forme de phénomènes météorologiques extrêmes et, dans les régions des côtes Est et Nord, sous forme de couverture de glace de mer réduite. Il existe des liens importants entre les deux : lorsqu'elle est présente, la glace de mer sert à protéger les côtes contre les effets potentiels des vagues associés aux tempêtes violentes bien que, à l'inverse, l'absence de glace de mer peut entraîner une augmentation de l'érosion côtière. Les répercussions des phénomènes météorologiques extrêmes ne se limitent pas à l'érosion par les vagues et aux inondations par les ondes de tempête, mais comprennent également de grands vents et de fortes précipitations susceptibles d'endommager l'infrastructure et de provoquer l'inondation des collectivités et des actifs côtiers.

Les services écosystémiques fournis par les systèmes côtiers seront également touchés par l'élévation du niveau de la mer, la réduction de la couverture de glace de mer et les autres effets climatiques comme les changements au niveau de la température et des précipitations, l'activité orageuse et le régime éolien, les téléconnexions avec les anomalies régionales du niveau de la mer, l'amélioration ou l'acidification par le CO₂ des eaux côtières. La perte ou la dégradation des écosystèmes côtiers (complexes de plages et de dunes, replats de marées, terres humides côtières, herbiers et estuaires) attribuables aux changements climatiques ont des impacts directs et indirects (Carter, 1991). Les impacts biophysiques de premier ordre touchent la prestation des services écosystémiques; les impacts de second ordre touchent la protection de la côte, l'approvisionnement en eau, les loisirs, l'agriculture et l'esthétique; et les impacts de troisième ordre ont une incidence sur les politiques et la gouvernance, avec des répercussions au niveau de la conservation, de la protection de l'habitat, de la protection de la propriété et des infrastructures essentielles, de la sécurité alimentaire et d'autres facteurs contribuant au développement durable.

7 RÉFÉRENCES

- Abeyasinghe, D.S. et Walker, I.J. (2008) : Sea level responses to climatic variability and change in northern British Columbia; *Atmosphere-Ocean*, vol. 46, n° 3, p. 277–296. doi :10.3137/ao.460301
- Abeyasinghe, D.S., Gilleland, E., Brionaugh, D. et Wong, P. (2009) : Extreme wind regime responses to climate variability and change in the inner south coast of British Columbia, Canada; *Atmosphere-Ocean*, vol. 47, n° 1, p. 41–62. doi :10.3137/AO1003.2009
- Adam, P. (2002) : Salt marshes in a time of change; *Environmental Conservation*, vol. 29, p. 39–61. doi :10.1017/S0376892902000048
- Allard, M., Michaud, Y., Ruz, M.H. et Héquette, A. (1998) : Ice foot, freeze-thaw of sediments, and platform erosion in a subarctic microtidal environment, Manitoulin Strait, northern Quebec, Canada; *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 35, n° 9, p. 965–979.
- Aré, F. (1988) : Thermal abrasion of sea coasts (Part 1); *Polar Geography*, vol. 12, n° 2, p. 87–111. doi :10.1080/10889378809377343
- Ashton, A., Murray, A.B. et Arnoult, O. (2001) : Formation of coastline features by large-scale instabilities induced by high-angle waves; *Nature*, vol. 414, n° 6853, p. 296–300. doi :10.1038/35104541 (+erratum : *Nature*, vol. 415, n° 6872, p. 666).
- Asplin, M.G., Galley, R., Barber, D.G. et Prinsenberg, S. (2012) : Fracture of summer perennial sea ice by ocean swell as a result of Arctic storms; *Journal of Geophysical Research : Oceans*, vol. 117, art. C06025. doi :10.1029/2011JC007221
- Atkinson, D.E. (2005) : Observed storminess patterns and trends in the circum-Arctic coastal regime; *Geo-Marine Letters*, vol. 25, n° 2–3, p. 98–109.
- Barnes, E.A. (2013) : Revisiting the evidence linking Arctic amplification to extreme weather in midlatitudes; *Geophysical Research Letters*, vol. 40, n° 17, p. 4734–4739.
- Barnhart, K.R., Anderson, R.S., Overeem, I., Wobus, C., Clow, G.D. et Urban, F.E. (2014a) : Modeling erosion of ice-rich permafrost bluff along the Alaskan Beaufort Sea coast; *Journal of Geophysical Research : Earth Surface*, vol. 119, n° 5, p. 1155–1179. doi :10.1002/2013JF002485
- Barnhart, K.R., Overeem, I. et Anderson, R.S. (2014b) : The effect of changing sea ice on the physical vulnerability of Arctic coasts; *The Cryosphere*, vol. 8, n° 5, p. 1777–1799. doi :10.5194/tc-8-1777-2014
- Bernatchez, P. et Dubois, J.-M.M. (2004) : Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien; *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 58, n° 1, p. 45–71.
- Bernatchez, P. et Dubois, J.-M.M. (2008) : Seasonal quantification of coastal processes and cliff erosion on fine sediment shorelines in a cold temperate climate, north shore of the St. Lawrence maritime estuary, Québec; *Journal of Coastal Research*, vol. 24, n° 1A, p. 169–180. doi :10.2112/04-0419.1
- Bernatchez, P. et Fraser, C. (2012) : Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada; *Journal of Coastal Research*, vol. 28, n° 6, p. 1550–1566. doi :10.2112/JCOASTRES-D-10-00189
- 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.
- Bernier, N.B. et Thompson, K.R. (2006) : Predicting the frequency of storm surges and extreme sea levels in the northwest Atlantic; *Journal of Geophysical Research : Oceans*, vol. 111, art. C10009. doi :10.1029/2005JC003168
- Bernier, N.B., Thompson, K.R., Ou, J. et Ritchie, H. (2007) : Mapping the return periods of extreme sea levels : allowing for short sea level records, seasonality, and climate change; *Global and Planetary Change*, vol. 57, n° 1–2, p. 139–150.
- Bindschadler, R.A., Nowicki, S., Abe-Ouchi, A., Aschwanden, A., Choi, H., Fastook, J., Granzow, G., Greve, R., Gutowski, G., Herzfeld, U., Jackson, C., Johnson, J., Khroulev, C., Levermann, A., Lipscomb, W.H., Martin, M.A., Morlighem, M., Parizek, B.R., Pollard, D., Price, S.F., Ren, D., Saito, F., Sato, T., Seddik, H., Seroussi, H., Takahashi, K., Walker, R. et Wang, W.L. (2013) : Ice-sheet model sensitivities to environmental forcing and their use in projecting future sea level (the SeaRISE Project); *Journal of Glaciology*, vol. 59, n° 214, p. 195–224.
- Bruun, P. (1954) : Coastal erosion and development of beach profiles; United States Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Vicksburg, Mississippi, Technical Memorandum 44, 79 p.
- Bruun, P. (1962) : Sea-level rise as a cause of shore erosion; *Journal of the Waterways and Harbors Division, Proceedings American Society of Civil Engineers*, vol. 88, n° 1–2, p. 117–130.

- Bush, E.J., Loder, J.W., James, T.S., Mortsch, L.D. et Cohen, S.J. (2014) : Un aperçu des changements climatiques au Canada, 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.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf>.
- Cambers, G. (2009) : Caribbean beach changes and climate change adaptation; *Aquatic Ecosystem Health & Management*, vol. 12, n° 2, p. 168–176.
- Carter, R.W.G. (1991) : Near-future sea level impacts on coastal dune landscapes; *Landscape Ecology*, vol. 6, n° 1–2, p. 29–31.
- Casati, B. et de Elia, R. (2014) : Temperature extremes from Canadian Regional Climate Model (CRCM) climate change projections; *Atmosphere-Ocean*, vol. 52, n° 3, p. 191–210.
- Catto, N., Ingram, D. et Edinger, E. (2006) : Geomorphic impacts of waves and storms on the southwestern coastline of Newfoundland, including Port-aux-Basques harbour; dans *Impacts of Storms & Winds on Transportation in Southwestern Newfoundland*, N. Catto, D. Foote, D. Kearney, W. Locke, B. DeYoung, E. Edinger, D. Ingram, J. Karn et J. Straatman, (éd.); Resources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation liés aux changements climatiques (PIACC), Projet A-804, p. 12–27, <http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/adaptation.nrcan.gc.ca/ContentPages/8936426.pdf>.
- Chang, E. K. (2013) : CMIP5 projection of significant reduction in extratropical cyclone activity over North America; *Journal of Climate*, vol. 26, n° 24, p. 9903–9922.
- Chmura, G.L. (2013) : What do we need to assess the sustainability of the tidal salt marsh carbon sink?; *Ocean & Coastal Management*, vol. 83, p. 25–31. doi :10.1016/j.ocecoaman.2011.09.006
- Chmura, G.L., Anisfeld, S.C., Cahoon, D.R. et Lynch, J.C. (2003) : Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils; *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 17, n° 4, art. 1111. doi :10.1029/2002GB001917
- 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. doi :10.1139/cjes-38-7-1081
- Church, J.A. et White, N.J. (2006) : A 20th century acceleration in global sea-level rise; *Geophysical Research Letters*, vol. 33, n° 1, art. L01602. doi :10.1029/2005GL024826
- 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. (2013a) : Sea level change; 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 (GIEC)*, T.F. Stocker, D. Quin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Middley (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>.
- 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. (2013b) : Sea level change supplementary material; 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 (GIEC)*, T.F. Stocker, D. Quin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Middley (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 13SM-1–13SM-8, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/supplementary/WG1AR5_Ch13SM_FINAL.pdf>.
- Clague, J.J. et James, T.S. (2002) : History and isostatic effects of the last ice sheet in southern British Columbia; *Quaternary Science Reviews*, vol. 21, p. 71–87.
- Cooper, J.A.G. et Pilkey, O.H. (2004) : Sea-level rise and shoreline retreat : time to abandon the Bruun Rule; *Global and Planetary Change*, vol. 43, n° 3–4, p. 157–171.
- Copland, L., Mueller, D.R. et Weir, L. (2007) : Rapid loss of the Ayles Ice Shelf, Ellesmere Island, Canada; *Geophysical Research Letters*, vol. 34, n° 21, art. L21501. doi :10.1029/2007GL031809
- Couture, N.J. (2010) : Fluxes of soil organic carbon from eroding permafrost coasts, Canadian Beaufort Sea; thèse de doctorat, Université McGill, Montréal, Québec, 136 p., <http://digitool.library.mcgill.ca:8881/R/?func=dbin-jump-full&object_id=92229>.
- Couture, N.J. et Manson, G.K. (2016) : CanCoast : a tool for helping to assess climate change vulnerability; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Dossier public.
- Couture, N.J., Craymer, M.R., Forbes, D.L., Fraser, P.R., Henton, J.A., James, T.S., Jenner, K.A., Manson, G.K., Simon, K.M., Silsik, R.J. et Whalen, D.J.R. (2014) : Coastal geoscience for sustainable development in Nunavut : 2013 activities; dans *Summary of Activities 2013; Canada-Nunavut Geoscience Office, Iqaluit, Nunavut*, p. 139–148, <<http://cngc.ca/app/uploads/Summary-of-Activities-2013.pdf>>.
- Couture, N.J., Hoque, A.M. et Pollard, W.H. (2008) : Modelling the erosion of ice-rich deposits along the Yukon Coastal Plain; dans *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*, D.L. Kane et K.M. Hinkel (éd.), 29 juillet–3 juillet 2008, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, vol. 1, p. 303–308, <<http://research.iarc.uaf.edu/NICOP/DVD/1st%20to%209th%20Conference%20PDF%20files/09th%20International%20Conference%20on%20Permafrost%20Vol%201.pdf>>.
- Covill, B., Forbes, D.L., Taylor, R.B. et Shaw, J. (1995) : Photogrammetric analysis of coastal erosion and barrier migration near Chézzetcook Inlet, eastern shore of Nova Scotia; Commission géologique du Canada, Dossier public 3027, 1 p.
- Craymer, M.R., Henton, J.A., Piraszewski, M. et Lapelle, E. (2011) : An updated GPS velocity field for Canada; *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 92, n° 51, Fall Meeting Supplement, Abstract G21A-0793, affiche, <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFM.G21A0793C>>.
- Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M.C., Frame, D., Mahowald, N. et Winther, J.-G. (2013) : Introduction; 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 (GIEC)*, T.F. Stocker, D. Quin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Middley (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 119–158, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter01_FINAL.pdf>.
- Curry, J.R. (1964) : Transgression and regression; dans *Papers in Marine Geology*, R.L. Miller (éd.); Macmillan Company, New York, New York, p. 175–203.
- Daniel, E.B. et Abkowitz, M.D. (2005) : Improving the design and implementation of beach setbacks in Caribbean small islands; *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association (URISA Journal)*, vol. 17, n° 1, p. 53–65.
- Davidson-Arnott, 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.
- Davies, M. (2011) : Geomorphic shoreline classification of Prince Edward Island; rapport préparé par Coldwater Consulting Ltd à l'intention de Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 66 p., <http://www.gov.pe.ca/photos/original/shoreline_pei.pdf>.
- Davis, R.E., Demme, G. et Dolan, R. (1993) : Synoptic climatology of Atlantic coast north-easters; *International Journal of Climatology*, vol. 13, n° 2, p. 171–189. doi :10.1002/joc.3370130204
- Day, J.W. Jr., Gunn, J.D., Folan, W.J., Yáñez-Arancibia, A. et Horton, B.P. (2012) : The influence of enhanced post-glacial coastal margin productivity on the emergence of complex societies; *Journal of Island and Coastal Archaeology*, vol. 7, n° 1, p. 23–52.
- Dettinger, M. (2011) : Climate change, atmospheric rivers, and floods in California – a multimodel analysis of storm frequency and magnitude changes; *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, vol. 47, n° 3, p. 514–523. doi :10.1111/j.1752-1688.2011.00546.x
- Drolet, D., Bringloe, 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.
- Eamer, J.B.R. et Walker, I.J. (2010) : Quantifying sand storage capacity of large woody debris on beaches using LiDAR; *Geomorphology*, vol. 118, n° 1–2, p. 33–47. doi :10.1016/j.geomorph.2009.12.006
- Eicken, H., Gradinger, R., Graves, A., Mahoney, A., Rigor, I. et Melling, H. (2005) : Sediment transport by sea ice in the Chukchi and Beaufort seas : increasing importance due to changing ice conditions?; *Deep Sea Research Part II : Topical Studies in Oceanography*, vol. 52, n° 24–26, p. 3281–3302.
- Environnement Canada (2013) : L'étendue maximum des glaces de mer pour une saison hivernale normale en eaux canadiennes; Environnement Canada, Service canadien des glaces, <<https://ec.gc.ca/glaces-ice/default.asp?Lang=En&n=E79B8B66-1>>.
- Enfield, D.B. et Cid-Serrano, L. (2010) : Secular and multidecadal warmings in the North Atlantic and their relationships with major hurricane activity; *International Journal of Climatology*, vol. 30, n° 2, p. 174–184. doi :10.1002/joc.1881
- Erwin, K.L. (2009) : Wetlands and global climate change : the role of wetland restoration in a changing world; *Wetlands Ecology and Management*, vol. 17, n° 1, p. 71–84. doi :10.1007/s11273-008-9119-1

- Etkin, D., Brun, S.E., Shabbar, A. et Joe, P. (2001) : Tornado climatology of Canada revisited : tornado activity during different phases of ENSO; *International Journal of Climatology*, vol. 21, n° 8, p. 915–938. doi :10.1002/joc.654
- Fan, Y., Lin, S., Griffies, S. M. et Hemer, M.A. (2014) : Simulated global swell and wind-sea climate and their responses to anthropogenic climate change at the end of the twenty-first century; *Journal of Climate*, vol. 27, n° 10, p. 3516–3536. doi :10.1175/JCLI-D-13-00198.1
- Farrell, W.E. et Clark, J.A. (1976) : On postglacial sea level; *Geophysical Journal International*, vol. 46, n° 3, p. 647–667.
- Feng, S., Ho, C.H., Hu, Q., Oglesby, R.J., Jeong, S.J. et Kim, B.M. (2012) : Evaluating observed and projected future climate changes for the Arctic using the Köppen-Trewartha climate classification; *Climate Dynamics*, vol. 38, n° 7–8, p. 1359–1373. doi :10.1007/s00382-011-1020-6
- Fischer, E.M. et Knutti, R. (2014) : Heated debate on cold weather; *Nature Climate Change*, vol. 4, p. 537–538.
- FitzGerald, D.M., Fenster, M.S., Argow, B.A. et Buynevich, I.V. (2008) : Coastal impacts due to sea-level rise; *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, vol. 36, p. 601–647.
- Flanner, M.G., Shell, K.M., Barlage, M., Perovich, D.K. et Tschudi, M.A. (2011) : Radiative forcing and albedo feedback from the northern hemisphere cryosphere between 1979 and 2008; *Nature Geoscience*, vol. 4, n° 3, p. 151–155. doi :10.1038/ngeo1062
- Forbes, D.L. (2011) : Glaciated coasts; dans *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, E. Wolanski et D.S. McLusky (éd.); Academic Press, Waltham, Massachusetts, vol. 3, p. 223–243.
- Forbes, D.L. et Hansom, J.D. (2011) : Polar coasts; dans *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, E. Wolanski et D.S. McLusky (éd.); Academic Press, Waltham, Massachusetts, vol. 3, p. 245–283.
- Forbes, D.L. et Manson, G.K. (2002) : Coastal geology and shore-zone processes; dans *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, D.L. Forbes et R.W. Shaw (éd.); Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, Document d'appui 9, 85 p
- Forbes, D.L. et Solomon, S.M. (1999) : Inlet division and coastal instability following tidal prism diversion; dans *Proceedings, Coastal Sediments 99*, Long Island, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginie, p. 1418–1433.
- Forbes, D.L. et Syvitski, J.P.M. (1994) : Paraglacial coasts; dans *Coastal Evolution : Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*, R.W.G. Carter et C.D. Woodroffe (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 373–424.
- Forbes, D.L. et Taylor, R.B. (1994) : Ice in the shore zone and the geomorphology of cold coasts; *Progress in Physical Geography*, vol. 18, n° 1, p. 59–89.
- Forbes, D.L., Bell, T., James, T.S. et Simon, K.M. (2014a) : Reconnaissance assessment of landscape hazards and potential impacts of future climate change in Avirat, southern Nunavut; dans *Summary of Activities 2013; Canada-Nunavut Geoscience Office*, Iqaluit, Nunavut, p. 183–192, <<http://cngn.ca/app/uploads/Summary-of-Activities-2013-P19.pdf>>.
- Forbes, D.L., Covill, R.A., Feindel, R.D. et Batterson, M.J. (1995a) : Preliminary assessment of coastal erosion between Port au Port and Stephenville, St. George's Bay, west Newfoundland; Commission géologique du Canada, Dossier public 3082, 10 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/203/203644/of_3082.pdf>.
- Forbes, D.L., Manson, G.K., Chagnon, R., Solomon, S.M., van der Sanden, J.J. et Lynds, T.L. (2002) : Nearshore ice and climate change in the southern Gulf of St. Lawrence; dans *Ice in the Environment : Proceedings of the 16th IAHR International Symposium on Ice*, 2–6 décembre 2002, Dunedin, Nouvelle-Zélande, V.A. Squire et P.J. Langhorne (éd.); International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR), vol. 1, p. 344–351, <<http://riverice.civil.ualberta.ca/IAHR%20Proc/16th%20Ice%20Symp%20Dunedin%202002/Volume%201/78.pdf>>.
- 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; Commission géologique du Canada, Dossier public 6346, 22 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/248/248196/of_6346.pdf>.
- Forbes, D.L., Manson, G.K., Whalen, D.J.R., Couture, N.J. et Hill, P.R. (2014b) : Coastal products of marine transgression in cold-temperate and high-latitude coastal-plain settings : Gulf of St. Lawrence and Beaufort Sea; dans *Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes : Similarities and Differences*, I.P. Martini et H.R. Wanless (éd.); Geological Society of London, Lyell Collection, Special Publication 388, p. 131–163. doi :10.1144/SP388.18
- Forbes, D.L., Orford, J.D., Carter, R.W.G., Shaw, J. et Jennings, S.C. (1995b) : Morphodynamic evolution, self-organisation, and instability of coarse-clastic barriers on paraglacial coasts; *Marine Geology*, vol. 126, n° 1–4, p. 63–85.
- Forbes, D.L., Orford, J.D., Taylor, R.B. et Shaw, J. (1997) : Interdecadal variation in shoreline recession on the Atlantic coast of Nova Scotia; dans *Proceedings of the 1997 Canadian Coastal Conference*, 21–24 mai 1997, Guelph, Ontario, M.G. Skafel (éd.); Canadian Coastal Science and Engineering Association, p. 360–374. <https://www.researchgate.net/publication/279448557_Interdecadal_variation_in_shoreline_recession_on_the_Atlantic_coast_of_Nova_Scotia>.
- 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., Solomon, S.M., Frobel, D., Goguen, M., Sherin, A.G., Parrott, R. et Covill, R. (1999) : Bathymetry, bottom conditions, and tidal inlet stability, Rustico Bay and vicinity, Prince Edward Island; Commission géologique du Canada, Dossier public 3766, 38 p. doi :10.4095/210829
- Forbes, D.L., Whalen, D.J.R., Jacobson, B., Fraser, P., Manson J.K., Couture, N.J. et Simpson, R. (2013) : Co-design of coastal risk assessment for subsistence infrastructure in the Inuvialuit Settlement Region, western Arctic Canada; réunion scientifique annuelle d'ArcticNet, 9–13 décembre 2013, Halifax, Nouvelle-Écosse, p. 141–142, abstract and poster, <http://www.arcticnetmeetings.ca/asm2013/docs/full_program.pdf>.
- Francis, J.A. et Vavrus, S.J. (2012) : Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, n° 6, art. L06801. doi :10.1029/2012GL051000
- Francis, J.A. et Vavrus, S.J. (2015) : Evidence for a wavier jet stream in response to rapid Arctic warming; *Environmental Research Letters*. doi :10.1088/1748-9326/10/1/014005
- Galbraith, H., Jones, R., Park, R., Clough, J., Herrod-Julius, S., Harrington, B. et Page, G. (2002) : Global climate change and sea level rise : potential losses of intertidal habitat for shorebirds; *Waterbirds*, vol. 25, n° 2, p. 173–183. doi :10.1675/1524-4695(2002)925[0173:GCCASK]2.0;2
- Gaston, A.J., Smith, P.A. et Provencher, J.F. (2012) : Discontinuous change in ice cover in Hudson Bay in the 1990s and some consequences for marine birds and their prey; *ICES Journal of Marine Science*, vol. 69, n° 7, p. 1218–1225.
- Gibbs, M. et Hill, T. (2011) : Coastal climate change risk – legal and policy responses in Australia; Australia Department of Climate Change and Energy Efficiency, Canberra, Australie, 89 p., <<http://www.environment.gov.au/system/files/resources/68cbc67-bd6c-41ee-b214-02a5143d90d9/files/coastal-cc-legal-responses.pdf>>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (1990) : *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*; Groupe de travail I, J.T. Houghton, G.J. Jenkins et J.J. Ephraums (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, New York, New York et Melbourne, Australie, 365 p., <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment_1990_wg1.shtml>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (1992) : *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*; Working Group I, J.T. Houghton, B.A. Callander et S.K. Varney (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, New York, New York et Victoria, Australie, 200 p., <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_supplementary_report_1992_wg1.shtml>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (1995) : *Climate Change 1995: The Science of Climate Change; contribution du Groupe de travail I au Deuxième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg et K. Maskell (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 572 p., <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_i/ipcc_sar_wg_i_full_report.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2000) : *Rapport spécial du GIEC – Scénarios d'émissions*; Groupe de travail III, N. Nakicenovic et R. Swart (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 599 p., <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/emissions_scenarios.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2001) : *Climate Change 2001: The Scientific Basis; contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 881 p., <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/>.

- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2007) : *Changements climatiques 2007: Les éléments scientifiques; contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport 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, 996 p., <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2012) : *Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique (SREX); Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Groupes de travail I et II*, C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor et P.M. Midgley (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 582 p., <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013) : *Résumé à l'intention des décideurs; dans Changements climatiques 2013: les éléments scientifiques; contribution du Groupe de travail I au Cinquième rapport 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. 3-29, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf>.
- Government of Western Australia (2006) : State coastal planning policy; prepared under Section 5aa of the Town Planning and Development Act 1928, Western Australian Planning Commission, Perth, Australie, 12 p.
- Gulev, S.K. et Grigorieva, V. (2004) : Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data; *Geophysical Research Letters*, vol. 31, vol. 24, art. L24302. doi :10.1029/2004GL021040
- Gulev, S.K. et Grigorieva, V. (2006) : Variability of the winter wind waves and swell in the North Atlantic and North Pacific as revealed by the voluntary observing ship data; *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 19, n° 21, p. 5667-5685.
- Hanesiak, J., Stewart, R., Taylor, P., Moore, K., Barber, D., McBean, G., Strapp, W., Wolde, M., Goodson, R., Hudson, E., Hudak, D., Scott, J., Liu, G., Gilligan, J., Biswas, S., Desjardins, D., Dyck, R., Fargey, S., Field, R., Gascon, G., Gordon, M., Greene, H., Hay, C., Henson, W., Hochheim, K., Laplante, A., Martin, R., Melzer, M. et Zhang, S. (2010) : Storm Studies in the Arctic (STAR); *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 91, n° 1, p. 47-68. doi :10.1175/2009BAMS2693
- Hansom, J.D., Forbes, D.L. et Etienne, S. (2014) : The rock coasts of polar and sub-polar regions; dans *Rock Coasts of the World*, D.M. Kennedy, W.J. Stephenson et L.A. Naylor (éd.); Geological Society of London, Lyell Collection, Memoirs, vol. 40, p. 263-281. doi :10.1144/M40.16
- Hartig, E.K., Gornitz, V., Kolker, A., Mushacke, F. et Fallon, D. (2002) : Anthropogenic and climate-change impacts on salt marshes of Jamaica Bay, New York City; *Wetlands*, vol. 22, n° 1, p. 71-89. doi :10.1672/0277-5212(2002)022
- Hays, J.D., Imbrie, J. et Shackleton, N.J. (1976) : Variations in the earth's orbit : pacemaker of the ice ages; *Science*, vol. 194, n° 4270, p. 1121-1132. doi :10.1002/esp.3350
- Heathfield, D.K., Walker, I.J. et Atkinson, D.E. (2013) : Erosive water level regime and climatic variability forcing of beach-dune systems on south-western Vancouver Island, British Columbia, Canada : *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 38, p. 751-762. doi :10.1002/esp.3350
- Heginbottom, J.A., Dubreuil, M.-A. et Harker, P.A. (1995) : Pergélisol; *Atlas national du Canada*, 5e édition, Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario <<http://geografis.gc.ca/api/en/nrcan-rcnac/ess-sst/d1e2048b-ccff-5852-aaa5-b861bd5c367>>.
- Hemer, M. A., Fan, Y., Mori, N., Semedo, A. et Wang, X. L. (2013) : Projected changes in wave climate from a multi-model ensemble; *Nature Climate Change*, vol. 3, p. 471-476. doi :10.1038/NCLIMATE1791
- Hemer, M.A., Wang, X.L., Weisse, R. et Swail, VOL.R. (2012) : Advancing wind-waves climate science : the COWCLIP project; *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, n° 6, p. 791-796. doi :10.1175/BAMS-D-11-00184.1
- Hicklin, P.W. (1987) : The migration of shorebirds in the Bay of Fundy; *Wilson Bulletin*, vol. 99, n° 4, p. 540-570.
- Hill, P.R., Barnes, P.W., Hequette, A. et Ruz, M.-H. (1994) : Arctic coastal plain shorelines; dans *Coastal Evolution : Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*, R.W.G. Carter et C.D. Woodroffe (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 341-372.
- Hill, P.R., Butler, R.W., Elner, R.W., Houser, C., Kirwan, M.L., Lambert, A., Lintern, D.G., Mazzotti, S., Shaw, A., Sutherland, T., Levings, C., Morrison, S., Petersen, S. et Solomon, S. (2013) : Impacts of sea level rise on Roberts Bank (Fraser Delta, British Columbia); *Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Dossier public 7259*, 71 p., <<http://geografis.gc.ca/api/en/nrcan-rcnac/ess-sst/c4813e59-f100-599f-8899-685fd6a34369.html>>.
- Hoque, M.A. et Pollard, W.H. (2009) : Arctic coastal retreat through block failure; *Revue canadienne de géotechnique*, vol. 46, n° 10, p. 1103-1115.
- Inman, D.L. (1987) : Accretion and erosion waves on beaches; *Shore and Beach*, vol. 55, p. 61-66.
- James, T.S., Clague, J.J., Wang, K. et Hutchinson, I. (2000) : Postglacial rebound at the northern Cascadia subduction zone; *Quaternary Science Reviews*, vol. 19, p. 1527-1541.
- James, T.S., Henton, J.A., Leonard, L.J., Darlington, A., Forbes, D.L. et Craymer, M. (2014) : Relative sea level rise projections for Canada and the adjacent mainland United States; *Commission géologique du Canada, Dossier public 7737*, 67 p., <http://ftp2.cits.rncan.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; *Commission géologique du Canada, Dossier public 7942*, 81 p. doi :10.4095/297048
- Jevrejeva, S., Moore, J.C. et Grinsted, A. (2010) : How will sea level respond to changes in natural and anthropogenic forcings by 2100?; *Geophysical Research Letters*, vol. 37, n° 7, art. L07703. doi :10.1029/2010GL042947
- 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 (Québec, Canada); *Landscape and Urban Planning*, vol. 81, n° 4, p. 287-298. doi :10.1016/j.landurbplan.2007.01.011
- 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
- Katsman, C.A., Sterl, A., Beersma, J.J., van den Brink, H.W., Church, J.A., Hazeleger, W., Kopp, R.E., Kroon, D., Kwadijk, J., Lammersen, R., Lowe, J., Oppenheimer, M., Plag, H.-P., Ridley, J., von Storch, H., Vaughan, D.G., Vellinga, P., Vermeersen, L.L.A., van de Wal, R.S.W. et Weisse, R. (2011) : Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta – the Netherlands as an example; *Climatic Change*, vol. 109, n° 3-4, p. 617-645.
- Khon, V.C., Mokhov, I.I., Pogorskiy, F.A., Babanin, A., Dethloff, K., Rinke, A. et Matthes, H. (2014) : Wave heights in the 21st century Arctic Ocean simulated with a regional climate model; *Geophysical Research Letters*, vol. 41, n° 8, p. 2956-2961. doi :10.1002/2014GL059847
- Kirwan, M.L. et Murray, A.B. (2008a) : Tidal marshes as disequilibrium landscapes? Lags between morphology and Holocene sea level change; *Geophysical Research Letters*, vol. 35, n° 24, art. L24401. doi :10.1029/2008GL036050
- Kirwan, M.L. et Murray, A.B. (2008b) : Ecological and morphological response of brackish tidal marshland to the next century of sea level rise : Westham Island, British Columbia; *Global and Planetary Change*, vol. 60, n° 3-4, p. 471-486. doi :10.1016/j.gloplacha.2007.05.005
- Kirwan, M.L., Murray, A.B. et Boyd, W.S. (2008) : Temporary vegetation disturbance as an explanation for permanent loss of tidal wetlands; *Geophysical Research Letters*, vol. 35, n° 5, art. L05403. doi :10.1029/2007GL032681
- Kobayashi, N., Vidrine, J.C., Nairn, R.B. et Solomon, S.M. (1999) : Erosion of frozen cliffs due to storm surge on Beaufort Sea coast; *Journal of Coastal Research*, vol. 15, n° 2, p. 332-344.
- Konopczak, A.M., Manson, G.K. et Couture, N.J. (2014) : Variability of coastal change along the western Yukon coast; *Commission géologique du Canada, Dossier public 7516*, 73 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/293/293788/of_7516.pdf>.
- Laidre, K., Heide-Jørgensen, M.P., Stern, H. et Richard, P. (2012) : Unusual narwhal sea ice entraps and delayed autumn freeze-up trends; *Polar Biology*, vol. 35, n° 1, p. 149-154.
- Lantuit, H. et Pollard, W.H. (2008) : Fifty years of coastal erosion and retrogressive thaw slump activity on Herschel Island, southern Beaufort Sea, Yukon Territory, Canada; *Geomorphology*, vol. 95, n° 1-2, p. 84-102.
- Lantuit, H., Overduin, P.P., Couture, N., Wetterich, S., Aré, F., Atkinson, D., Brown, J., Cherkashov, G., Drodzov, D., Forbes, D.L., Graves-Gaylord, A., Grigoriev, M., Hubberten, H.-W., Jordan, J., Jorgenson, T., Ødegård, R.S., Ogorodov, S., Pollard, W.H., Rachold, V., Sedenko, S., Solomon, S., Steenhuizen, F., Streletskaia, I. et Vasiliev, A. (2012) : The Arctic coastal dynamics database : a new classification scheme and statistics on Arctic permafrost coastlines; *Estuaries and Coasts*, vol. 35, n° 2, p. 383-400. doi :10.1007/s12237-010-9362-6

- Leont'ev, I.O. (2003) : Modeling erosion of sedimentary coasts in the western Russian Arctic; *Coastal Engineering*, vol. 47, n° 4, p. 413–429.
- Leont'ev, I.O. (2004) : Coastal profile modeling along the Russian Arctic coast; *Coastal Engineering*, vol. 51, n° 8–9, p. 779–794.
- MacDonald, E. (2010) : The Yankee gale, the August gale and popular culture on Prince Edward Island; *The Dalhousie Review*, Université Dalhousie, Halifax, Nouvelle-Écosse, vol. 90, n° 1, p. 95–110, <<https://ojs.library.dal.ca/dalhousiereview/article/view/dr901macdonald/1415>>.
- Mahmood, R., Pielke, R.A. Sr., Hubbard, K.G., Niyogi, D., Dirmeyer, P.A., McAlpine, C., Carleton, A.M., Hale, R., Gameda, S., Beltrán-Przekurat, A., Baker, B., McNider, R., Legates, D.R., Shepherd, M., Du, J., Blanken, P.D., Frauenfeld, O.W., Nair, U.S. et Fall, S. (2014) : Land cover changes and their biogeophysical effects on climate; *International Journal of Climatology*, vol. 34, n° 4, p. 929–953.
- Manson, G.K. (2002) : Subannual erosion and retreat of cohesive till bluffs, McNab's Island, Nova Scotia; *Journal of Coastal Research*, vol. 18, n° 3, p. 421–432.
- Manson, G.K. et Solomon, S.M. (2007) : Past and future forcing of Beaufort Sea coastal change; *Atmosphere-Ocean*, vol. 45, n° 2, p. 107–122.
- Mars, J.C. et Houseknecht, D.W. (2007) : Quantitative remote sensing study indicates doubling of coastal erosion rate in past 50 yr along a segment of the Arctic coast of Alaska; *Geology*, vol. 35, n° 7, p. 583–586.
- Marsh, P. et Schmidt, T. (1993) : Influence of a Beaufort Sea storm surge on channel levels in the Mackenzie Delta; *Arctic*, vol. 46, n° 1, p. 35–41.
- 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.
- Maxwell, J.B. (1981) : Climatic regions of the Canadian Arctic islands; *Arctic*, vol. 34, n° 3, p. 225–240.
- Maxwell, J. B. (1982) : The climate of the Canadian Arctic islands and adjacent waters (volume 2); dans *Climatological Studies*; Environnement Canada, Atmospheric Environment Service, n° 30, 589 p.
- Mazzotti, S., Jones, C. et Thomson, R.E. (2008) : Relative and absolute sea level rise in western Canada and northwestern United States from a combined tide gauge–GPS analysis; *Journal of Geophysical Research : Oceans*, vol. 113, art. C11019. doi : 10.1029/2008JC004835
- Mazzotti, S., Lambert, A., van der Kooij, M. et Mainville, A. (2009) : Impact of anthropogenic subsidence on relative sea-level rise in the Fraser River delta; *Geology*, vol. 37, n° 9, p. 771–774. doi : 10.1130/G25640A.1
- McCann, S.B., éditeur (1980) : The coastline of Canada : littoral processes and shore morphology; Commission géologique du Canada, Étude 80-10, 439 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/102/102212/pa_80_10.pdf>.
- McCann, S.B. (1990) : An introduction to the coastal dunes of Atlantic Canada; dans *Proceedings of the Canadian Symposium on Coastal Dunes*, R.G.D. Davidson-Arnott (éd.); Conseil national de recherches du Comité associé de la recherche sur l'érosion des rivages et l'ensablement, Ottawa, Ontario p. 89–107.
- McCann, S.B. et Byrne, M.-L. (1989) : Stratification models for vegetated coastal dunes in Atlantic Canada; dans *Proceedings Royal Society of Edinburgh*, vol. 96B, p. 203–215.
- McKee, K., Rogers, K. et Saintilan, N. (2012) : Response of salt marsh and mangrove wetlands to changes in atmospheric CO₂, climate, and sea level; dans *Global Change and the Function and Distribution of Wetlands*, B.A. Middleton (éd.); *Global Change Ecology and Wetlands*, vol. 1, p. 63–96. doi : 10.1007/978-94-007-4494-3_2
- Mekis, É. et Vincent, L.A. (2011) : An overview of the second generation adjusted daily precipitation dataset for trend analysis in Canada; *Atmosphere-Ocean*, vol. 49, n° 2, p. 163–177.
- Mesquita, M.S., Atkinson, D.E. et Hodges, K.I. (2010) : Characteristics and variability of storm tracks in the North Pacific, Bering Sea, and Alaska; *Journal of Climate*, vol. 23, n° 2, p. 294–311.
- Mesquita, M.S., Atkinson, D.E., Simmonds, I., Keay, K. et Gottschalck, J. (2009) : New perspectives on the synoptic development of the severe October 1992 Nome storm; *Geophysical Research Letters*, vol. 36, n° 13, art. L13808. doi : 10.1029/2009GL038824
- Mitrovica, J.X., Gomez, N., Morrow, E., Hay, C. et Tamisiea, M.E. (2011) : On the robustness of predictions of sea level fingerprints; *Geophysical Journal International*, vol. 187, p. 729–742. doi : 10.1111/j.1365-246X.2011.05090.x
- Mitrovica, J.X., Tamisiea, M.E., Davis, J.L. et Milne, G.A. (2001) : Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea-level change; *Nature*, vol. 409, n° 6823, p. 1026–1029.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. et Wilbanks, T.J. (2010) : The next generation of scenarios for climate change research and assessment; *Nature*, vol. 463, n° 7282, p. 747–756.
- Mueller, D.R., Vincent, W.F. et Jeffries, M.O (2003) : Break-up of the largest Arctic ice shelf and associated loss of an episodic lake; *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 20, art. 2031. doi : 10.1029/2003GL017931
- Nakićenović, N., Davidson, O., Davis, G., Grübler, A., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Metz, B., Moreira, T., Pepper, W., Pitcher, H., Sankovski, A., Shukla, P., Swart, R., Watson, R. et Dadić, Z. (2000) : Special Report on Emissions Scenarios; a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 599 p.
- National Research Council (2012) : Sea-Level Rise for the Coasts of California, Oregon, and Washington : Past, Present, and Future; The National Academy Press, Washington, District de Columbie, 201 p.
- New Zealand Ministry for the Environment (2008) : Coastal hazards and climate change : a guidance manual for local government in New Zealand (2e édition); New Zealand Ministry for the Environment, Wellington, Nouvelle-Zélande, 129 p., <<http://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/coastal-hazards-climate-change-guidance-manual.pdf>>.
- Nicholls, R.J., Hanson, S.E., Lowe, J.A., Warrick, R.A., Lu, X., Long, A.J. et Carter, T.A. (2011) : Constructing sea-level scenarios for impact and adaptation assessment of coastal areas : a guidance document; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis, Genève, Suisse, 47 p., <http://www.ipcc-data.org/docs/Sea_Level_Scenario_Guidance_Oct2011.pdf>.
- O'Carroll, S., Bérubé, D., Forbes, D.L., Hanson, A., Jolicoeur, S. et Fréchette, A. (2006) : Coastal erosion; dans *Impacts of Sea-Level Rise and Climate Change on the Coastal Zone of Southeastern New Brunswick*, R. Daigle (éd.); Environnement Canada, p. 324–401, <<http://publications.gc.ca/collections/Collection/En84-45-2006E.pdf>>.
- 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.
- Orford, J.D., Jennings, S.C. et Forbes, D.L. (2001) : Origin, development, reworking and breakdown of gravel-dominated coastal barriers in Atlantic Canada : future scenarios for the British coast; dans *Ecology and Geomorphology of Coastal Shingle*, (éd.) J.R. Packham, R.E. Randall, R.S.K. Barnes and A. Neal; Westbury Academic and Scientific Publishing, Otley, Royaume-Uni, p. 23–55.
- Orson, R.A., Simpson, R.L. et Good, R.E. (1990) : Rates of sediment accumulation in a tidal freshwater marsh; *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 60, n° 6, p. 859–869.
- 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
- Parke, G.S. et Ketch, L.A. (2002) : Storm-surge climatology; dans *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, D.L. Forbes et R.W. Shaw (éd.); Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, Document de soutien 2, 86 p., <<http://geografis.gc.ca/api/en/nrcan-rncan/ess-sst/b127e3eb-9238-50ef-a5d5-1a4b62601e82.html>>.
- Parke, G.S., Manson, G.K., Chagnon, R. et Ketch, L.A. (2006) : Storm-surge, wind, wave and ice climatology; dans *Impacts of Sea-Level Rise and Climate Change on the Coastal Zone of Southeastern New Brunswick*, R. Daigle (éd.); Environnement Canada, p. 95–262, <<http://publications.gc.ca/collections/Collection/En84-45-2006E.pdf>>.
- Parris, A., Bromirski, P., Burkett, V., Cayan, D., Culver, M., Hall, J., Horton, R., Knuuti, K., Moss, R., Obeysekera, J., Salenger, A. et Weiss, J. (2012) : Global sea level rise scenarios for the US National Climate Assessment; NOAA Technical Memo OAR CPO-1, 37 p.
- Peltier, W.R. (2004) : Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth : the ICE-5G (VM2) model and GRACE; *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 32, p. 111–149.
- Pfeffer, W.T., Harper, J.T. et O'Neal, S. (2008) : Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea-level rise; *Science*, vol. 321, n° 5894, p. 1340–1343.
- Phillips, J.D. (1999) : Event timing and sequence in coastal shoreline erosion : Hurricanes Bertha and Fran and the Neuse Estuary; *Journal of Coastal Research*, vol. 15, n° 3, p. 616–623.

- Pielke, R.A. Sr., Pitman, A., Niyogi, D., Mahmood, R., McAlpine, C., Hossain, F., Goldewijk, K.K., Nair, U., Betts, R., Fall, S., Reichstein, M., Kabat, P. et de Noblet, N. (2011) : Land use/land cover changes and climate : modeling analysis and observational evidence; *Wiley Interdisciplinary Reviews : Climate Change*, vol. 2, n° 6, p. 828–850. doi :10.1002/wcc.144
- Pinna Sustainability (2013) : Atmospheric Rivers State of Knowledge Report; rapport non publié préparé à l'intention de Pacific Climate Impacts Consortium, Pacific Institute for Climate Solutions et BC Ministry of Environment, 10 p., <<http://www.pacificclimate.org/sites/default/files/publications/Atmospheric%20Report%20Final%20Revised.pdf>>.
- Pisaric, M.F., Thienpont, J.R., Kokelj, S.V., Nesbitt, H., Lantz, T.C., Solomon, S. et Smol, J.P. (2011) : Impacts of a recent storm surge on an Arctic delta ecosystem examined in the context of the last millennium; *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 108, n° 22, p. 8960–8965.
- Rahmstorf, S. (2007) : A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise; *Science*, vol. 315, n° 5810, p. 368–370.
- Ralph, F.M. et Dettinger, M.D. (2012) : Historical and national perspectives on extreme west coast precipitation associated with atmospheric rivers during December 2010; *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, n° 6, p. 783–790.
- Rampton, V.N. et Bouchard, M. (1975) : Surficial geology of Tuktoyaktuk, District of Mackenzie; Commission géologique du Canada, Étude 74-53, 17 p. et Carte 5-1974, <<http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/full&web&search1=R-102560>>.
- Reimnitz, E. et Maurer, D.K. (1979) : Effects of storm surges on the Beaufort Sea coast, northern Alaska; *Arctic*, vol. 32, n° 4, p. 329–344.
- Reimnitz, E., Barnes, P.W. et Harper, J.R. (1990) : A review of beach nourishment from ice transport of shoreface materials, Beaufort Sea, Alaska; *Journal of Coastal Research*, vol. 6, n° 2, p. 439–470.
- Ressources naturelles Canada (2007) : Précipitations totales moyennes annuelles; Atlas national du Canada, Ressources naturelles Canada, Secteur des sciences de la Terre, <<http://geonat.gcc.ca/api/en/nrcan-rncan/ess-sst/d8fb41f0-8893-11e0-92bb-6cf049291510>>.
- Reynolds, R.W. et Smith, T.M. (1995) : A high-resolution global sea surface temperature climatology; *Journal of Climate*, vol. 8, p. 1571–1583. doi :<[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)008<1571:AHRGSS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1995)008<1571:AHRGSS>2.0.CO;2)>
- Roberts, B.A. et Robertson, A. (1986) : Salt marshes of Atlantic Canada : their ecology and distribution; *Revue canadienne de botanique*, vol. 64, n° 2, p. 455–467.
- Roberts, E., Nawri, N. et Stewart, R.E. (2008) : On the storms passing over southern Baffin Island during autumn 2005; *Arctic*, vol. 61, n° 3, p. 309–321.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., III, Lambin, E., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. et Foley, J.A. (2009) : A safe operating space for humanity; *Nature*, vol. 461, n° 7263, p. 472–475.
- Rogelj, J., Meinshausen, M. et Knutti, R. (2012) : Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates; *Nature Climate Change*, vol. 2, p. 248–253. doi :10.1038/NCLIMATE1385
- Rosati, J.D., Dean, R.G. et Walton, T.L. (2013) : The modified Bruun Rule extended for landward transport; *Marine Geology*, vol. 340, p. 71–81.
- Ruddiman, W., Vavrus, S., Kutzbach, J. et He, F. (2014) : Does pre-industrial warming double the anthropogenic total?; *The Anthropocene Review*, vol. 1, n° 2, p. 147–53.
- Ruffman, A. (1999) : A multidisciplinary and interscientific study of the Saxby Gale : an October 4–5, 1869 hybrid hurricane and record storm surge; *Bulletin de la Société canadienne de météorologie et d'océanographie (SCMO)*, vol. 27, n° 3, p. 67–73.
- Scavia, D., Field, J.C., Boesch, D.F., Buddemeier, R.W., Burkett, V., Cayan, D.R., Fogarty, M., Hawwell, M.A., Howarth, R.W., Mason, C., Reed, D.J., Royer, T.C., Sallenger, A.H. et Titus, J.G. (2002) : Climate change impacts on U.S. coastal and marine ecosystems; *Estuaries*, vol. 25, n° 2, p. 149–164.
- Šeparović, L., Alexandru, A., Laprise, R., Martynov, A., Sushama, L., Winger, K., Tete, K. et Valin, M. (2013) : Present climate and climate change over North America as simulated by the fifth-generation Canadian regional climate model; *Climate Dynamics*, vol. 41, n° 11–12, p. 3167–3201.
- Shabbar, A. et Khandekar, M. (1996) : The impact of El Niño-Southern oscillation on the temperature field over Canada : research note; *Atmosphere-Ocean*, vol. 34, n° 2, p. 401–416.
- Shaw, J. et Ceman, J. (1999) : Salt-marsh aggradation in response to late-Holocene sea-level rise at Amherst Point, Nova Scotia, Canada; *The Holocene*, vol. 9, n° 4, p. 439–451. doi :0.1191/09596839968027869
- Shaw, J., Gareau, P. et Courtney, R.C. (2002) : Palaeogeography of Atlantic Canada 13-0 kyr; *Quaternary Science Reviews*, vol. 21, n° 16–17, p. 1861–1878.
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.-H. et Solomon, S. (1998) : Sensitivity of the coasts of Canada to sea level rise; *Commission géologique du Canada, Bulletin* 505, 79 p., <<http://open.canada.ca/data/en/dataset/b321c920-4f4e-50c5-bfea-103b961b6ebc>>.
- Shugar, D.H., Walker, I.J., Lian, O.B., Eamer, J.B.R., Neudorf, C., McLaren, D. et Fedje, D. (2014) : Post-glacial sea-level change along the Pacific coast of North America, *Quaternary Science Review*, vol. 97, p. 170–192. doi :10.1016/j.quascirev.2014.05.022
- Simmonds, I. et I. Rudeva, I. (2012) : The great Arctic cyclone of August 2012; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, n° 23, art. L23709. doi :10.1029/2012GL054259
- Solomon, S.M. (2005) : Spatial and temporal variability of shoreline change in the Beaufort-Mackenzie region, Northwest Territories, Canada; *Geo-Marine Letters*, vol. 25, n° 2–3, p. 127–137.
- Solomon, S.M. et Covill, R. (1995) : Impacts of the September 1993 storm on the Beaufort Sea; dans *Proceedings of the 1995 Canadian Coastal Conference*, 18–21 octobre 1995, Dartmouth, Nouvelle-Écosse; Canadian Coastal Science and Engineering Association, vol. 2, p. 779–795.
- Squire, V.A. (2007) : Of ocean waves and sea-ice revisited; *Cold Regions Science and Technology*, vol. 49, n° 2, p. 110–133.
- Stammerjohn, S., Massom, R., Rind, D. et Martinson, D. (2012) : Regions of rapid sea ice change : an inter-hemispheric seasonal comparison; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, n° 6, art. L06501. doi :10.1029/2012GL050874
- Stern, N. (2007) : The Economics of Climate Change : the Stern Review; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 712 p.
- Stewart, R.E., Bachand, D., Dunkley, R.R., Giles, A.C., Lawson, B., Legal, L., Miller, S.T., Murphy, B.P., Parker, M.N., Paruk, B.J. et Yau, M.K. (1995) : Winter storms over Canada; *Atmosphere-Ocean*, vol. 33, n° 2, p. 223–247. doi :10.1080/07055900.1995.949533
- St-Hilaire-Gravel, D., Bell, T. et Forbes, D.L. (2010) : Raised gravel beaches as proxy indicators of past sea-ice and wave conditions, Lowther Island, Canadian Arctic Archipelago; *Arctic*, vol. 63, n° 2, p. 213–226.
- St-Hilaire-Gravel, D., Forbes, D.L. et Bell, T. (2012) : Multitemporal analysis of a gravel-dominated coastline in the central Canadian Arctic Archipelago; *Journal of Coastal Research*, vol. 28, n° 2, p. 421–441.
- St-Hilaire-Gravel, D., Forbes, D.L. et Bell, T. (2015) : Evolution and morphodynamics of a prograded beach-ridge foreland, northern Baffin Island, Canadian Arctic Archipelago; *Geografiska Annaler : Series A, Physical Geography*, p. 1–21. doi :10.1111/geoa.12103
- Stirling, I. et Derocher, A.E. (2012) : Effects of climate warming on polar bears : a review of the evidence; *Global Change Biology*, vol. 18, n° 9, p. 2694–2706.
- Stroeve, J.C., Serreze, M.C., Holland, M.M., Kay, J.E., Malanik, J. et Barrett, A.P. (2012) : The Arctic's rapidly shrinking sea ice cover : a research synthesis; *Climatic Change*, vol. 110, n° 3–4, p. 1005–1027.
- Taylor, R.B., Forbes, D.L., Frobel, D., Manson, G.K. et Shaw, J. (2014) : Coastal geoscience studies at the Bedford Institute of Oceanography, 1962–2012; dans *Voyage of Discovery : Fifty Years of Marine Research at Canada's Bedford Institute of Oceanography*, D.N. Nettleship, D.C. Gordon, C.F.M. Lewis, et M.P. Latremouille (éd.); Bedford Institute of Oceanography–Oceans Association, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, p. 197–204.
- 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; Commission géologique du Canada, Dossier public 5802, 86 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/225/225116/of_5802.pdf>.
- Thevenot, M.M. et Kraus, N.C. (1995) : Longshore sand waves at Southampton Beach, New York : observation and numerical simulation of their movement; *Marine Geology*, vol. 126, n° 1–4, p. 249–269. doi :10.1016/0025-3227(95)00081-9
- Thomson, J. et Rogers, W.E. (2014) : Swell and sea in the emerging Arctic Ocean; *Geophysical Research Letters*, vol. 41, n° 9, p. 3136–3140. doi :10.1002/2014GL059983
- Thomson, R.E., Bornhold, B.D. et Mazzotti, S. (2008) : An examination of the factors affecting relative and absolute sea level in coastal British Columbia; *Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques* 260, 49 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/335209.pdf>>.
- 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/JCOASTRES-D-12-00162

- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (1971) : Beaufort Sea storm : investigation of effects in the Mackenzie Delta Region; rapport non publié, Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 23 p.
- 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., Ollerhead, J. et Davidson-Arnott, R.G.D. (2006) : Seasonal and annual variations in the volumetric sediment balance of a macro-tidal salt marsh; *Marine Geology*, vol. 225, n° 1–4, p. 103–127.
- Verhagen, H.J. (1989) : Sand waves along the Dutch coast; *Coastal Engineering*, vol. 13, n° 2, p. 129–147. doi :10.1016/0378-3839(89)90020-3
- Vermaire, J.C., Pisaric, M.F., Thienpont, J.R., Courtney Mustaphi, C.J., Kokelj, S.V. et Smol, J.P. (2013) : Arctic climate warming and sea ice declines lead to increased storm surge activity; *Geophysical Research Letters*, vol. 40, n° 7, p. 1386–1390.
- Vermeer, M. et Rahmstorf, S. (2009) : Global sea level linked to global temperature; *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, n° 51, p. 21527–21532.
- Vincent, L.A. et Mekis, É. (2006) : Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century; *Atmosphere-Ocean*, vol. 4, n° 2, p. 177–193. doi :10.3137/ao440205
- 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
- Vose, R.S., Applequist, S., Bourassa, M.A., Pryor, S.C., Barthelmie, R.J., Blanton, B., Bromirski, P.D., Brooks, H.E., DeGaetano, A.T., Dole, R.M., Easterling, D.R., Jensen, R.E., Karl, T.R., Katz, R.W., Klink, K., Kruk, M.C., Kunkel, K.E., MacCracken, M.C., Peterson, T.C., Shein, K., Thomas, B.R., Walsh, J.E., Wang, X.L., Wehner, M.F., Wuebbles, D.J. et Young, R.S. (2014) : Monitoring and understanding changes in extremes : extratropical storms, winds, and waves; *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 95, n° 3, p. 377–386. doi :10.1175/BAMS-D-12-00162.1
- Wadham, P., Squire, V.A., Goodman, D.J., Cowan, A.M. et Moore, S.C. (1988) : The attenuation rates of ocean waves in the marginal ice zone; *Journal of Geophysical Research : Oceans*, vol. 93, n° C6, p. 6799–6818.
- Walker, I.J. et Barrie, J.V. (2006) : Geomorphology and sea-level rise on one of Canada's most 'sensitive' coasts : northeast Graham Island, British Columbia; *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39, p. 220–226.
- Wang, M. et Overland, J.E. (2009) : A sea ice free summer Arctic within 30 years?; *Geophysical Research Letters*, vol. 36, art. L07502. doi :10.1029/2009GL037820
- Wang, X.L. (2006) : Climatology and trends in some adverse and fair weather conditions in Canada, 1953–2004; *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, vol. 111, n° D9. doi :10.1029/2005JD006155
- Wang, X.L., Feng, Y. et Swail, V.R. (2012) : North Atlantic wave height trends as reconstructed from the 20th century reanalysis; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, n° 18, art. L18705. doi :10.1029/2012GL053381
- Wang, X.L., Feng, Y. et Swail, V.R. (2014a) : Changes in global ocean wave heights as projected using multimodel CMIP5 simulations; *Geophysical Research Letters*, vol. 41, p. 1026–1034. doi :10.1002/2013GL058650
- Wang, X.L., Feng, Y. et Vincent, L.A. (2014b) : Observed changes in one-in-20 year extremes of Canadian surface air temperatures; *Atmosphere-Ocean*, vol. 52, n° 3, p. 222–231.
- Wang, X.L., Wan, H. et Swail, V.R. (2006) : Observed changes in cyclone activity in Canada and their relationships to major circulation regimes; *Journal of Climate*, vol. 19, n° 6, p. 896–915.
- Warren, F.J. et Lemmen, D.S. (2014) : Synthèse; dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, (éd.) F.J. Warren et D.S. Lemmen; Gouvernement du Canada, Ottawa, p. 1–18, <http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Synthese_Fra.pdf>.
- Webster, T. (2012) : Coastline change in Prince Edward Island, 1968–2010 and 2000–2010; Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique , 36 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.ueei.ca.acsa/files/ACASA%20PEI%20Coastal%20Change%20from%201968-2010%20and%202000-2010_2.pdf>.
- Webster, T. et Forbes, D.L. (2006) : Airborne laser altimetry for predictive modeling of coastal storm-surge flooding; dans *Remote Sensing of Aquatic Coastal Ecosystem Processes*, L.L. Richardson et E.F. LeDrew (éd.); Springer, Dordrecht, Pays-Bas, p. 157–182.
- Webster, T., Forbes, D.L., Dickie, S., Covill, R.A. et Parkes, G.S. (2002) : Airborne imaging, digital elevation models and flood maps; dans *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise in Prince Edward Island*, D.L. Forbes et R.W. Shaw (éd.), Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, 31 p.
- Webster, T., McGuigan, K., Collins, K. et MacDonald, C. (2014) : Integrated river and coastal hydrodynamic flood risk mapping of the LaHave River estuary and town of Bridgewater, Nova Scotia, Canada; *Water*, vol. 6, n° 3, p. 517–546.
- Whalen, D., Fraser, P., Forbes, D.L., Manson, G.K., Hynes, S., James, T.S., Szlavko, B. et Couture, N.J. (2012) : Coastal change in the Canadian Beaufort Sea – findings and observations based on the synthesis of coastal geoscience data to support BREA; résumés de présentation orale, Arctic Change 2014, Ottawa, p. 197–198, <<http://www.arcticnetmeetings.ca/ac2014/docs/web-oral-presentation.pdf>>.
- Wobus, C., Anderson, R.S., Overeem, I., Matell, N., Clow, G. et Urban, F. (2011) : Thermal erosion of a permafrost coastline : improving process-based models using time-lapse photography; *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, vol. 43, n° 3, p. 474–484. doi :10.1657/1938-4246-43.3.474
- Wolfe, S.A., Walker, I.J. et Huntley, D.J. (2008) : Holocene coastal reconstruction, Naikoon peninsula, Queen Charlotte Islands, British Columbia; Commission géologique du, Recherches en cours 2008–12, 16 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/225/225498/cr_2008_12.pdf>.
- Wolinsky, M.A. (2009) : A unifying framework for shoreline migration : 1. Multiscale shoreline evolution on sedimentary coasts; *Journal of Geophysical Research : Earth Surface*, vol. 114, art. F01008. doi :10.1029/2007JF000855
- Wolinsky, M.A. et Murray, A.B. (2009) : A unifying framework for shoreline migration : 2. Application to wave-dominated coasts; *Journal of Geophysical Research : Earth Surface*, vol. 114, art. F01009. doi :10.1029/2007JF000856
- Wong, P.P., Losada, I.J., Gattuso, J.-P., Hinkel, J., Khattabi, A., McInnes, K.L., Saito, Y. et Sallenger, A. (2014) : Coastal systems and low-lying areas; dans *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Part A : Global and Sectoral Aspects*; contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 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. 361–409, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chapter5_FINAL.pdf>.
- Wood, M.E., Kelley, J.T. et Belknap, D.F. (1989) : Patterns of sediment accumulation in the tidal marshes of Maine; *Estuaries*, vol. 12, n. 4, p. 237–246.
- Woodroffe, C.D., Nicholls, R.J., Burkett, V. et Forbes, D.L. (2014) : The impact of climate change on coastal ecosystems; dans *Oceans and Human Health : Implications for Society and Well-Being*, R.E. Bowen, M.H. Depledge, C.P. Carlarne et L.E. Fleming (éd.); Wiley-Blackwell, Chichester, Royaume-Uni, p. 141–176.
- Yin, J. (2012) : Century to multi-century sea level rise projections from CMIP5 models; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, art. L17709. doi :10.1029/2012GL052947
- Yin, J., Griffies, S.M. et Stouffer, R.J. (2010) : Spatial variability of sea level rise in twenty-first century projections; *Journal of Climate*, vol. 23, n° 17, p. 4585–4607.
- Young, I.R., Zieger, S. et Babanin, A.V. (2011) : Global trends in wind speed and wave height; *Science*, vol. 332, p. 451–455. doi :10.1126/science.1197219
- Zhang, X., Hogg, W.D. et Mekis, É. (2001) : Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada; *Journal of Climate*, vol. 14, n° 9, p. 1923–1936.

CHAPITRE 3 : LE DÉFI CÔTIER

Auteurs principaux :

Colleen S.L. Mercer Clarke (Université d'Ottawa), Patricia Manuel (Université Dalhousie) et Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada)

Auteurs collaborateurs :

Michael Davies (Coldwater Consulting Ltd.), Thomas S. James (Ressources naturelles Canada), Stéphane O'Carroll (Geo Littoral Consulting), Danika van Proosdij (Université Saint Mary's), Jean-Pierre Savard (Ouranos) et Nathan Vadeboncoeur (Université de British Columbia)

Notation bibliographique recommandée :

Mercer Clarke, C.S.L., P. Manuel et F.J. Warren. « Le défi côtier », 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), 2016, p. 69–98.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	72	3.5	PLANIFICATION DE L'ADAPTATION	83
			3.5.1	POLITIQUE, PLANIFICATION ET CONCEPTION DU DÉVELOPPEMENT LOCAL	84
2	ÉVOLUTION DES CÔTES	72	3.5.2	PLANIFICATION EN VUE DE L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER	85
2.1	SANTÉ DES ÉCOSYSTÈMES	72	3.5.3	OUTILS POUR FACILITER L'ADAPTATION	88
	2.1.1 SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	73	3.6	APPROCHES D'ADAPTATION	89
2.2	SOCIÉTÉ CÔTIÈRE	75	3.6.1	AUCUNE INTERVENTION ACTIVE	90
	2.2.1 INFRASTRUCTURE	75	3.6.2	ATTÉNUATION	90
	2.2.2 DÉFIS ÉCONOMIQUES	77	3.6.3	PROTECTION	90
	2.2.3 SANTÉ ET BIEN-ÊTRE HUMAINS	81	3.6.4	ÉVITEMENT ET RETRAIT	92
3	SE PRÉPARER AU CHANGEMENT	81	3.7	ÉTAT DE PRÉPARATION EN CAS D'URGENCE	92
3.1	GOUVERNANCE DES CÔTES	81	4	RÉFLEXIONS EN CONCLUSION	93
3.2	PERCEPTIONS ET VALEURS	82	5	RÉFÉRENCES	93
3.3	BUTS ET OBJECTIFS EN MATIÈRE D'ADAPTATION	82			
3.4	RÉDUIRE LA VULNÉRABILITÉ ET GÉRER LE RISQUE	83			

1 INTRODUCTION

Le littoral canadien, le plus long du monde, est un élément déterminant de notre identité nationale. Les villes portuaires du Canada sont des portes d'entrée au commerce international et à l'immigration dans notre pays ainsi que notre lien au vaste monde, et le demeureront. Les côtes, que l'on vive à proximité de ces dernières ou non, revêtent de l'importance pour les Canadiens en raison de la beauté naturelle ou la biodiversité qu'elles représentent, ou bien des contributions qu'elles font à la société humaine, la culture et l'économie.

Tout au long de l'histoire, les zones côtières ont constitué une source essentielle de nourriture pour les Inuits et les peuples des Premières nations ainsi que le lieu de liens spirituels et culturels profonds. Les premiers Européens se sont installés d'abord le long des côtes de l'Atlantique et du Pacifique où ils ont établi des fermes, des pêches et des industries ainsi que des installations militaires et des villes de commerce avant de s'aventurer plus loin à l'intérieur. Par le passé, les économies côtières au Canada étaient largement fondées sur le traitement et la distribution de biens et services importants (p. ex. nourriture, ressources minérales et énergie). De nos jours par contre, les collectivités côtières sont des milieux de plus en plus urbains et axés sur le consommateur ainsi que des pôles de recherche, de technologie et d'innovation fournissant des biens et services au marché mondial.

Au fur et à mesure que le climat et les conditions météorologiques saisonnières évoluent, les milieux côtiers subissent des changements sur une période relativement courte (Lane et al., 2013; voir aussi le chapitre 2). Anticiper l'incidence de ces changements et comprendre les défis connexes constituent les premiers pas en vue de se préparer à y répondre. Déjà, les collectivités côtières du Canada prennent des mesures visant à réduire les risques associés aux conditions changeantes et à favoriser les avantages que représentent des occasions nouvelles ou croissantes (voir les chapitres 4 à 6). D'autres informations relatives à l'incidence sur les secteurs et aux efforts d'adaptation sont à consulter dans le rapport de Warren et Lemmen (2014).

Le présent chapitre donne un aperçu des changements climatiques courants et prévus ainsi que d'autres facteurs environnementaux qui pourraient avoir une incidence cumulative sur la durabilité des communautés et des milieux côtiers. Le chapitre résume aussi certains éléments clés d'approches pour la planification de l'adaptation et décrit la manière dont cette planification sert dans certaines zones côtières en présence de régimes météorologiques et climatiques différents ainsi que l'intervention proactive adoptée en conséquence. Des informations plus détaillées sur chacune des zones côtières du Canada (de l'est, de l'ouest et du nord) sont à consulter aux chapitres 4 à 6.

2 ÉVOLUTION DES CÔTES

Les paysages côtiers du Canada sont composés de milieux terrestres, aquatiques et maritimes divers liant la terre aux océans Atlantique, Arctique et Pacifique (voir le chapitre 1). L'activité humaine a considérablement modifié les paysages terrestres et côtiers et le littoral dans toutes les régions du pays. Au nombre des exemples de modification de la couverture terrestre et de l'utilisation des terres, on remarque le remplacement de la couverture

terrestre naturelle par des forêts exploitées, des terres agricoles, des villes et des villages. La construction de barrages et de réservoirs, le soutirage d'eau potable et d'irrigation, le remblayage, le dragage et la canalisation ont créé des changements dans les rivières, les lacs et les estuaires. Les zones intertidales et sublittorales ont été mises en valeur (c.-à-d. endiguées) ou remblayées à des fins agricoles et de développement. La construction de digues, d'ouvrages longitudinaux, de brise-lames, de quais et de routes en remblai ainsi que le dragage et le remblayage ont reformé les zones littorales, par nature des écosystèmes très dynamiques (voir le chapitre 2). Même le long des côtes éloignées au nord, les effets de l'activité humaine sont de plus en plus évidents à mesure que l'accès à l'Arctique à des fins de mise en valeur devient de plus en plus facile (Forbes, 2011; Keeling, 2012; ArcticNet, 2013).

Les changements climatiques constituent un facteur de stress supplémentaire sur les régions côtières et les zones et les écosystèmes côtiers, déjà soumises à des accrues du fait de l'activité humaine, risquent d'être touchés les plus durement. Les effets généralisés de tels facteurs de stress cumulatif sur les régions côtières du monde entier ont été regroupés dans des catégories d'impact (Munang et al., 2009; Simpson et al., 2012; Arlington Group et al., 2013; Lane et al., 2013), notamment :

- Les écosystèmes et paysages modifiés et perte ou réduction des services écosystémiques;
- Le littoral de moins en moins stable;
- L'inondation et l'endommagement de terres, de résidences, de l'infrastructure, des industries et des biens culturels;
- La contamination de sources d'approvisionnement en eau;
- La croissance des coûts de protection, d'entretien, d'amélioration ou de remise en état et des assurances;
- La réduction du potentiel d'investissements ou de nouveaux débouchés économiques;
- La modification de modes de vie, les effets sur la santé et le bien-être et la perte de vie.

En fonction de facteurs locaux (p. ex. exposition ou vulnérabilité), certains de ces impacts sinon tous seront observés dans les collectivités et les milieux côtiers partout au Canada. La section suivante donne un aperçu de l'incidence de diverses tendances climatiques (p. ex. températures plus élevées, élévation du niveau de la mer, modification de l'activité orageuse) sur la santé des écosystèmes et le bien-être social et économique en examinant de près les effets de tendances existantes et en présentant de nouvelles possibilités ainsi que de nouveaux défis dans les régions côtières du Canada.

2.1 SANTÉ DES ÉCOSYSTÈMES

Dans le monde entier, la santé des écosystèmes côtiers se détériore en raison des répercussions directes et indirectes de l'activité humaine (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, 2005a, b; Agence européenne pour l'environnement, 2006a, b; Lotze et al., 2006; PNUE, 2010). La déforestation, la surpêche, l'introduction d'espèces envahissantes et le développement de la région sublittorale (p. ex. durcissement du littoral, endiguement de marais salés à des fins d'agriculture, remblayage des eaux sublittorales en vue de développer ces régions et d'y construire des ponts et des routes en remblai) peuvent avoir une incidence directe sur

les écosystèmes et les espèces. Les polluants chimiques et biologiques (y compris des nutriments) qu'entraînent les modifications à la couverture terrestre et les activités d'utilisation des terres dans le bassin versant ou qui se manifestent sous forme de rejets d'activités maritimes peuvent avoir une incidence indirecte sur les écosystèmes côtiers. Les barrages ou la canalisation des eaux de surface peuvent modifier le volume des débits d'eau douce et le moment auquel ces eaux se déversent vers le littoral maritime. Au Canada, l'ampleur de l'incidence anthropique sur les systèmes côtiers peut s'avérer considérable, particulièrement dans les régions plus densément peuplées du sud du pays (Ban et Alder, 2008). Par exemple, plus des deux tiers des marais salés côtiers dans les provinces de l'Atlantique ont fait l'objet de drainage, ont été convertis en terres agricoles ou bien réduits en superficie par le développement urbain ou industriel (Austen et Hanson, 2007).

ÉCOSYSTÈMES RÉSILIENTS

Les écosystèmes, les populations et les espèces sont considérés comme en santé s'ils font preuve de résilience au stress et d'une capacité de gestion de leurs structures et modes de fonctionnement respectifs au fil du temps (Haskell *et al.*, 1992; Costanza et Mageau, 1999). La résilience est une mesure de la capacité d'un écosystème à endurer les facteurs de stress découlant d'influences extérieures et à surmonter les effets de ces pressions et de ce stress, ainsi que la mesure dans laquelle le rétablissement est réussi par rapport aux conditions qui prévalaient dans l'écosystème avant que les facteurs de stress ne se fassent sentir (Costanza et Mageau, 1999; Rapport et Whitford, 1999).

Les écosystèmes s'adaptent en permanence aux changements naturels dans des facteurs physiques, chimiques et biologiques internes et externes qui surviennent dans le temps et dans l'espace, et qui ont des effets sur la structure et la fonction des écosystèmes. La résilience peut déterminer le caractère des effets de ces changements, que ce soit positif, négatif ou tout simplement différent. Les changements dans la santé d'un écosystème peuvent avoir des effets sur les services écosystémiques (p. ex. nourriture, eau, transport et ressources) dont la société humaine dépend.

La compréhension de l'état de santé des écosystèmes sur la plupart des côtes du Canada demeure faible et les documents à ce sujet sont peu nombreux (Mercer Clarke, 2010, 2011). Malgré la collecte de données sur les effets d'activités industrielles sur l'environnement aux fins de conformité à des exigences réglementaires, les renseignements sur les conditions côtières plus générales sont parfois restreints, même ceux portant sur les zones côtières peuplées, et sont particulièrement rares en ce qui a trait au nord du Canada. L'information existante est souvent périmée, fragmentée dans le temps et dans l'espace ou obtenue au moyen de méthodes de recherche et de compte rendu non normalisées, ce qui rend difficile la présentation de conclusions générales sur l'état actuel de santé des écosystèmes, populations et espèces du littoral et les tendances connexes (Hutchings *et al.*, 2012). Les facteurs de stress croissants sur les écosystèmes côtiers qu'entraînent les changements climatiques, de pair avec les pressions de l'activité humaine, pourraient compromettre la capacité des systèmes naturels à absorber les impacts sans subir de modifications permanentes et préjudiciables.

2.1.1 SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Par le biais d'un ensemble de services écologiques, chimiques et physiques, les écosystèmes fournissent des services et des avantages qui soutiennent le bien-être de la société (Thrush et Dayton, 2010). Les services écosystémiques peuvent se regrouper en quatre catégories (Lotze et Glaser, 2009; Snelgrove *et al.*, 2009; de Groot *et al.*, 2010) : 1) la prestation de services (p. ex. la nourriture, l'énergie et les transports); 2) les services de soutien (p. ex. photosynthèse, captage du carbone, eau et habitat); 3) les services de régulation (p. ex. régulation du climat, purification de l'eau, traitement des eaux usées et protection des dangers physiques); 4) les services culturels (p. ex. soutien spirituel, esthétique, loisirs et études). L'exploitation non durable des ressources peut avoir pour effet de nuire à la quantité et à la qualité des services écosystémiques et vraisemblablement, les changements climatiques exacerberont l'incidence d'autres facteurs de stress tels que la surpêche, l'élimination de contaminants, l'enrichissement en matières nutritives et la perte d'habitat par suite d'activités de déforestation et d'urbanisation (figure 1; Mooney *et al.*, 2009; Gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada, 2010; Hounsell, 2012).

Malgré le nombre croissant de rapports de conditions détériorées dans les milieux océaniques et côtiers, la valeur des services écosystémiques demeure largement non reconnue et peu de travaux entrepris au Canada portent sur la détermination des contributions économiques de services tels que la protection contre les tempêtes côtières, la réception et le filtrage de déchets et la production d'oxygène. D'après une étude (Costanza *et al.*, 2014) à l'échelle mondiale réalisée en 2011, il est estimé que les services écosystémiques fournissent à l'économie mondiale une valeur totale annuelle de 125 000 milliards de dollars américains. L'incidence des changements climatiques sur des services écosystémiques en particulier, notamment la sécurité alimentaire (Rice et Garcia, 2011) et le tourisme côtier (Scott *et al.*, 2012), a aussi fait l'objet d'études. Malgré l'existence de certaines études économiques au Canada portant sur la valeur des services océaniques (p. ex. pêches et transports) pour l'économie du pays (Gardner Pinfold Consulting Economists Ltd., 2009a, b), il est difficile de tirer des informations sur la valeur de services moins tangibles, notamment l'élimination de déchets et la protection contre les phénomènes météorologiques.

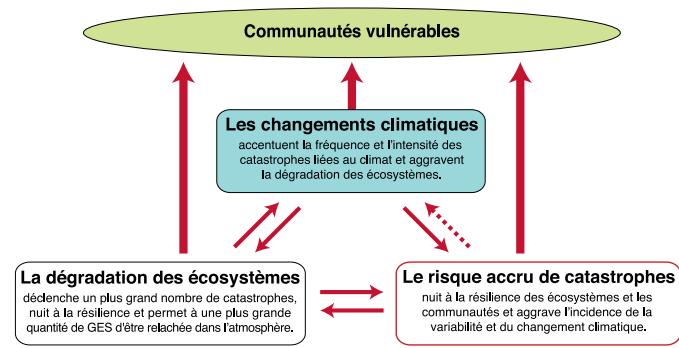
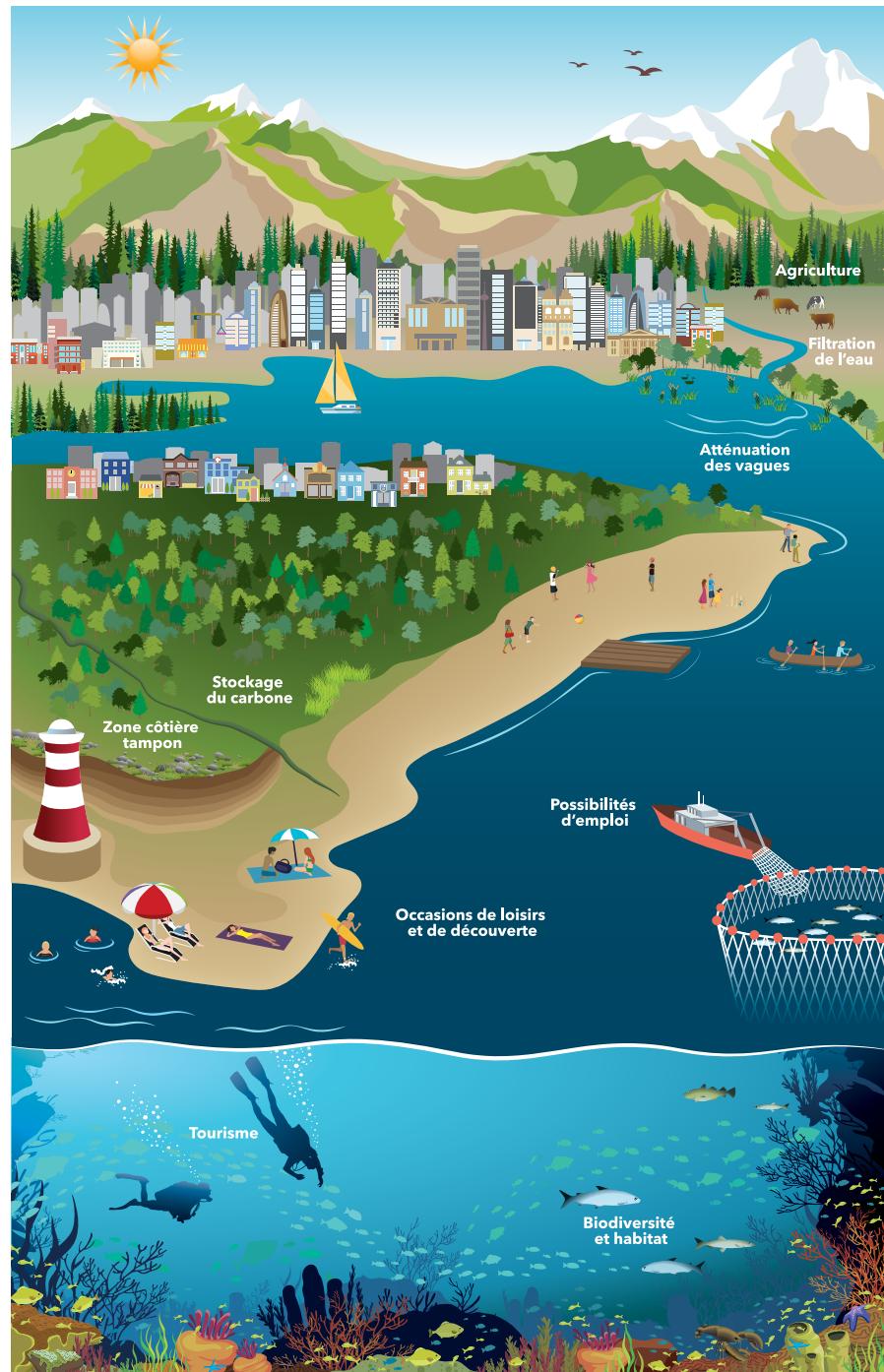


FIGURE 1 : Liens entre l'incidence des changements climatiques, la dégradation des écosystèmes et le risque accru de catastrophes de nature climatique (Nantel *et al.*, 2014, extrait modifié tiré de Munang *et al.*, 2009).

L'incidence de changements physiques et biologiques associés aux changements climatiques sur la biodiversité côtière au Canada de pair avec d'autres pressions de nature anthropique ont des répercussions sur la durabilité des services écosystémiques et ultimement sur le bien-être social et économique des collectivités côtières (Berteaux *et al.*, 2010; Hutchings *et al.*, 2012). La conservation de la biodiversité côtière peut comprendre la gestion des zones protégées existantes ainsi que la création de nouveaux parcs, de réserves fauniques et d'aires marines protégées. Les efforts déployés pour orienter la conception de réseaux d'aires marines protégées résilientes au Canada (Commission de coopération environnementale, 2012) et planifier la mise en œuvre de mesures d'adaptation dans les aires côtières protégées existantes (Parcs Canada, 2007) sont des exemples de tentatives préliminaires en vue de préparer les écosystèmes et les collectivités aux changements climatiques.

Dans l'adaptation planifiée selon une approche axée sur les écosystèmes, on emploie des méthodes durables de planification des terres qui mettent l'accent sur l'optimisation de la résilience dans les communautés naturelles et humaines par le biais de la protection de la biodiversité, le rétablissement du fonctionnement des écosystèmes et l'exploitation durable des ressources (Nantel *et al.*, 2014). Le document de Nantel *et al.* (2014) résume les actions d'adaptation de base suivantes qui servent à soutenir la résilience des écosystèmes :

- Protéger les écosystèmes intacts, la diversité des espèces et la fonction des écosystèmes;
- Lier les aires protégées au moyen de paysages terrestres et marins gérés et durables;
- Remettre en état les écosystèmes dégradés et soutenir le rétablissement des espèces;
- Maintenir ou remettre en état la variabilité naturelle dans l'écosystème d'intérêt;
- Protéger et gérer les limites des aires;
- Adopter des approches de gestion active telles que la migration assistée, s'il y a lieu.



SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES CÔTIERS ET MARINS (FIGURE 2)

Les biens et services que fournissent les écosystèmes côtiers et marins, quoique souvent tenus pour acquis, seraient difficiles — sinon impossible — à remplacer. On compte au nombre des avantages tirés de ces biens et services, la protection de dommages résultant de tempêtes côtières, le filtrage de substances toxiques et de nutriments, la production d'oxygène et le captage du dioxyde de carbone. De plus, la pêche, le tourisme et les loisirs offrent des avantages économiques et appuient des modes de vie qui contribuent à la richesse sociale et culturelle du pays [traduction]. (Pew Oceans Commission, 2003, p. 7).

FIGURE 2 : Services écosystémiques côtiers (extrait modifié tiré de Moser *et al.*, 2014).

2.2 SOCIÉTÉ CÔTIÈRE

Aux fins du présent rapport, une société côtière consiste en des collectivités installées sur le littoral ou à proximité de ce dernier, ainsi que les personnes ayant des liens économiques ou culturels importants avec le littoral. Au Canada, la société côtière se caractérise par les tendances complexes d'établissement, la densité des populations et l'utilisation des paysages par les humains. Bon nombre de collectivités côtières au Canada ont fait preuve de résilience face à des facteurs de stress économique et environnemental ainsi que de la volonté et de la capacité de s'adapter. Dans une société, on entend par « résilience » la capacité des communautés humaines à endurer des facteurs de stress ou de choc, notamment des changements environnementaux ou un bouleversement social, économique ou politique, et à se rétablir par la suite (Adger, 2000; Stockholm Resilience Centre, 2015). Il s'agit de la capacité du système à se rétablir des dommages possibles, notamment par des modifications positives aux éléments essentiels, du moment que ces modifications permettent de réduire la vulnérabilité et d'améliorer le bien-être.

Des statistiques sur les populations côtières du Canada sont parfois difficiles à obtenir, mais Manson (2005) a estimé que la résidence de plus de 13 % de la population canadienne se trouve à une distance de 20 km ou moins du littoral, ce qui représente seulement 2,6 % de la superficie totale du Canada. Partout au Canada atlantique et sur une grande partie de la côte de la Colombie-Britannique, la population devient moins dense à mesure qu'on s'éloigne du littoral (Manson, 2005). Au Nunavut, chacune des 25 collectivités sauf une se trouve sur la côte. Le vieillissement de la population est une tendance importante dans certaines régions et particulièrement dans certaines parties de la Colombie-Britannique et certains milieux ruraux du Canada atlantique (CBCL Limited, 2009; Ressources naturelles Canada, 2014b). Par contre, la population dans le Nord est plus jeune : seulement 3,3 % des habitants du Nunavut sont âgés de 64 ans et plus (Statistique Canada, 2012). Dans certaines régions, il se peut que la restructuration de l'économie et du commerce sur le plan national et international ait eu une incidence sur le profil démographique des côtes, tout comme les changements économiques dans les industries primaires à l'échelle locale, notamment la fermeture des pêches de poissons de fond de l'Atlantique, l'exploration et l'exploitation de gisements pétroliers et gaziers au large des côtes ainsi que l'intérêt et les investissements accrus dans le tourisme côtier (Dolan *et al.*, 2005).

Depuis le début des années 1900, les populations côtières du Canada se déplacent des régions à caractère essentiellement rural vers les régions à caractère urbain, tout comme bon nombre de populations ailleurs au pays. Les villes côtières, dont Victoria et Vancouver (Colombie-Britannique), Québec (Québec), Saint-Jean (Nouveau-Brunswick), Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard), Halifax (Nouvelle-Écosse) et St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador), sont des d'activités économiques et culturelles. Dans le Nord, Inuvik (Territoires du Nord-Ouest), Iqaluit (Nunavut) et Happy Valley-Goose Bay (Terre-Neuve-et-Labrador) constituent d'importants centres de services régionaux et sont des ports essentiels à l'importation et l'exportation de marchandises. À Iqaluit et dans d'autres collectivités du Nord, il faut faire

face à des changements rapides dans la société et la culture qui découlent en partie de la croissance et la diversification économiques, tout en composant avec le taux croissant de changements au niveau de l'environnement local.

Les sections qui suivent font un survol des effets possibles d'un climat en évolution sur des éléments importants de la société côtière.

2.2.1 INFRASTRUCTURE

Les côtes canadiennes abritent une gamme de ports, de havres et de marinas dans des villes et des villages. Chaque année, du fret valant plus de 160 milliards de dollars passe par les ports plus importants relevant de la compétence d'administrations portuaires individuelles (Association des administrations portuaires canadiennes, 2007). L'infrastructure des ports pour petits bateaux dans les villes et villages vaut plus de 2 milliards de dollars. Cette infrastructure est essentielle aux secteurs de la pêche et des transports étant donné que presque 90 % de tous les débarquements de poisson au pays ont lieu dans un port pour petits bateaux (MPO, 2014a). En reconnaissance de l'importance que les impacts économiques des changements climatiques pourraient avoir au niveau de l'infrastructure côtière industrielle, la province de la Nouvelle-Écosse a commandé la création d'un outil permettant d'évaluer le degré de vulnérabilité des infrastructures servant aux activités de pêche et d'aquaculture (CBCL Limited, 2012).

De nombreux exemples récents existent de dommages à l'infrastructure côtière des transports et de retards dans les transports en raison de phénomènes météorologiques extrêmes et de conditions saisonnières (Andrey *et al.*, 2014). Des conditions météorologiques éprouvantes ont causé des dommages et des retards pour les traversiers et les navires de charge et dans certains cas, elles ont entraîné des périodes d'isolation (p. ex. pendant l'hiver de 2014–2015, les traversiers des îles-de-la-Madeleine étaient pris dans les glaces; CBC News, 2015). Bon nombre de routes côtières ont été construites de manière à suivre le littoral et les rivières de près, et souvent, des ponts et des routes en remblai permettaient d'assurer la liaison entre elles. De tels réseaux de transports s'avèrent particulièrement vulnérables aux phénomènes climatiques extrêmes, surtout quand l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête s'accompagnent d'une forte précipitation (étude de cas 1).

ÉTUDE DE CAS 1

L'OURAGAN IGOR, TERRE-NEUVE, 2010

(Environnement Canada, 2014; Masson, 2014)

En septembre 2010, l'ouragan Igor est arrivé sur l'île de Terre-Neuve, juste au large de la péninsule Avalon. Au moment où il s'est abattu sur Terre-Neuve, Igor était toujours désigné du nom d'« ouragan », mais il a par la suite rapidement été déclassé au stade de tempête post-tropicale. Néanmoins, des vents de force ouragan (120 à 140 km/h) ont balayé certaines régions de

Terre-Neuve et ont obligé 22 villes et villages à déclarer l'état d'urgence. À mesure qu'Igor poursuivait son chemin vers le nord, des routes et des ponts dans toute l'île ont été emportés, isolant ainsi plus de 150 villes (figure 3).

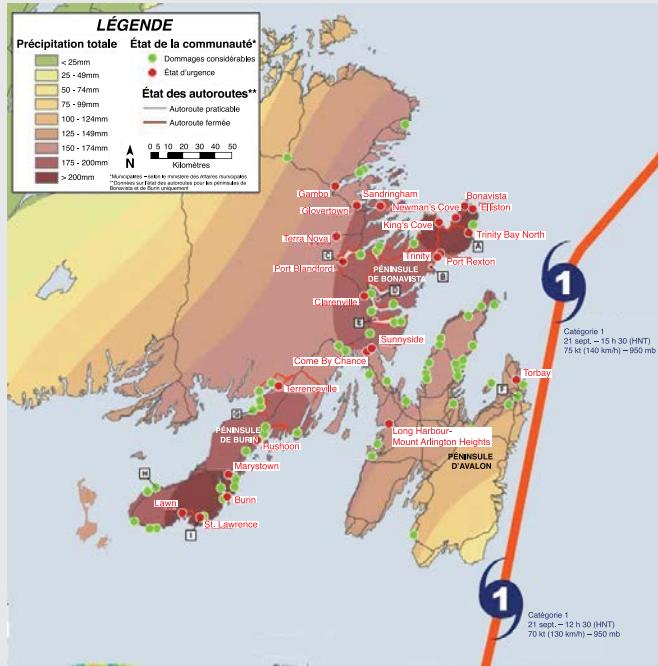


FIGURE 3 : La trajectoire de l'ouragan Igor dans l'est de Terre-Neuve en septembre 2010 ainsi que les régions ayant subi des dommages considérables (Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador, 2010).

Un front météorologique de l'atmosphère supérieure important se déplaçant lentement vers l'est sur l'ensemble de l'île s'ajoutait à la force d'Igor, créant ainsi un système météorologique complexe de vents et de précipitations caractérisé par une forte circulation et une vaste portée. À certains endroits, les pointes de vent ont atteint 172 km/h. De nouveaux records de précipitation depuis 100 ans ont été établis, dont celui de 239 mm de pluie en seulement deux heures dans la collectivité de St. Lawrence, dans la péninsule de Burin. Environ 70 000 personnes ont manqué de courant, le carburant en est venu à manquer et des avis d'ébullition d'eau ont été émis pour l'ensemble de la province. Les fortes pluies ont emporté des routes, des ponts et des routes en remblai (figure 4). La Transcanadienne et les principales routes d'accès (à certains endroits, le seul accès par route) ont été fermées pour cause d'emportement par les eaux, d'inondation ou d'endommagement de l'asphalte.

Dans une province reconnue pour ses tempêtes, Igor s'est révélé destructeur. La tempête a modifié le paysage en permanence et a changé la vie de bon nombre de familles. La valeur des déclarations de sinistre a dépassé 65 millions de dollars, soit la valeur la plus élevée de demandes d'indemnisation associées aux conditions météorologiques de l'histoire de la province. Selon certaines estimations, les pertes non assurées se sont élevées jusqu'à 200 millions de dollars. La valeur des dommages causés à l'environnement n'a pas été calculée. En reconnaissance de l'intensité du phénomène météorologique, Environnement Canada et l'Organisation météorologique mondiale ont officiellement fait



FIGURE 4: Emportement par les eaux de l'autoroute et du pont près de Port Rexton, T.-N.-L. Photo gracieuseté des Services des incendies et des urgences de Terre-Neuve-et-Labrador.

retirer le nom « Igor » du roulement officiel des noms d'ouragan dans l'Atlantique.

D'autres infrastructures publiques au Canada telles que l'approvisionnement en eau potable, la gestion des eaux pluviales, les systèmes d'évacuation, les immeubles gouvernementaux et les biens culturels fournissent des services essentiels dont les communautés et l'industrie dépendent. Des études récentes ont révélé qu'une grande partie des infrastructures publiques dans les régions côtières du Canada est en piètre état actuellement et vulnérable aux effets négatifs des changements climatiques (Stanton et al., 2010). Dans une évaluation de l'infrastructure municipale (réseaux d'eau potable, réseaux d'évacuation des eaux usées et des eaux de pluie, routes municipales) dans l'ensemble du Canada, Félio (2012) a signalé que 30 % de l'infrastructure a été coté de « passable » à « très mauvaise ». Il a établi que l'état de plus de la moitié des routes variait de passable à très mauvais et les coûts de réparation pourraient atteindre 91,1 milliards de dollars (en dollars de 2012; Félio, 2012).

Les changements climatiques aggravent de nombreux risques touchant l'infrastructure existante (Andrey et al., 2014). Par exemple, la plupart des systèmes de traitement des eaux usées dans les régions côtières se trouvent près du littoral afin de faciliter l'alimentation par gravité des eaux usées vers l'usine de traitement (réduisant ainsi les coûts de pompage) et l'élimination des effluents traités dans les eaux réceptrices à proximité (J.D. Clarke, communication personnelle, 2014). Les usines sur place dans de tels endroits sont vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations causées par les ondes de tempête et les vagues dont les effets sont exacerbés par les changements climatiques. Malgré la hausse des dépenses en infrastructure publique au Canada (figure 5; Infrastructure Canada, 2011), il reste beaucoup à faire. À l'avenir, les investissements en réparations et en nouvelles constructions profiteraient de la prise en considération de changements courants et prévus des conditions environnementales qu'entraînent les changements climatiques (p. ex. élévation du niveau de la mer, tempêtes et précipitations de plus en plus intenses).

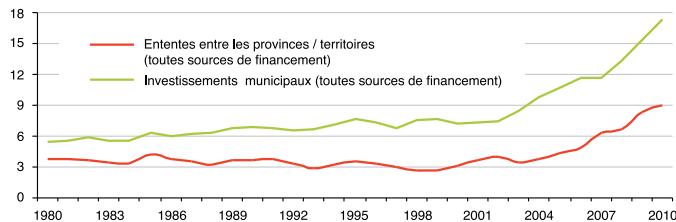


FIGURE 5 : Investissements gouvernementaux (en G\$) en infrastructures publiques de base (ponts, routes, réseaux d'eau et d'eaux usées, transports, installations culturelles et de loisirs; Infrastructure Canada, 2011).

Par le passé, les bâtiments tels que les maisons, les entreprises, les écoles et les églises dans les régions côtières ont été généralement construits à courte distance de la côte, sur des terres considérées comme raisonnablement à l'abri de dangers maritimes (telles les marées hautes et les ondes de tempête) et favorables pour d'autres raisons (p. ex. activités agricoles et accès par route). Dans de nombreuses collectivités, les premiers tracés des routes côtières suivaient le littoral et les vallées fluviales. Plusieurs de ces routes ont été améliorées, mais n'ont pas été relocalisées en terrain plus élevé. Avec le temps, la dynamique côtière, les tempêtes, l'élévation du niveau de la mer et la construction humaine ont profondément modifié certaines parties du littoral (voir le chapitre 2), entraînant la perte de terres qui agissaient comme une zone tampon naturelle en protégeant les collectivités contre les vagues, ou la détérioration des constructions de protection, notamment les digues à la mer et les ouvrages longitudinaux. Bon nombre des biens culturels et sites historiques les plus anciens (p. ex. Forteresse de Louisbourg, au Cap Breton, en Nouvelle-Écosse) sont de plus en plus menacés par l'élévation du niveau de la mer.

Au cours des dernières décennies, l'évolution des normes sociales et la croissance de la demande pour des résidences riveraines ont donné lieu à des modifications considérables relatives aux tendances d'établissement. De nos jours, l'aménagement du secteur riverain à des fins résidentielles et commerciales caractérise de nombreuses collectivités côtières et a remplacé les quais, jetées et entrepôts d'auparavant. De nombreuses façons, ces nouveaux aménagements sont néanmoins plus vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et au temps violent. Même aux endroits protégés par des digues ou des ouvrages longitudinaux, les vagues plus hautes, les marées ou les ondes de tempête sont de plus en plus susceptibles de déborder les structures existantes (voir le chapitre 2). Les provinces côtières et notamment la Colombie-Britannique se préoccupent des changements du niveau de la mer et ont élaboré de nouvelles lignes directrices relatives à l'entretien et à la

réparation des digues existantes qui tiennent compte de l'élévation future du niveau de la mer (voir le chapitre 6; Bornhold, 2008; Ausenco Sandwell, 2011c; Delcan, 2012).

Les changements climatiques posent un éventail de défis aussi bien au niveau de l'infrastructure vieillissante que des codes et des critères en fonction desquels de nouvelles installations seront établies, conçues, construites et entretenues (encadré 1; Félio, 2012; Boyle et al., 2013). La majorité de l'infrastructure moderne a été conçue et construite conformément à des normes fondées sur des conditions climatiques historiques. Il se peut que les critères de ces normes ne suffisent plus à protéger contre les changements attendus, notamment en ce qui concerne les vents et la surcharge de neige, ni à intervenir de manière sécuritaire en cas de phénomènes météorologiques plus violents (Auld et MacIver, 2007). Depuis 2005, un corpus d'articles évalués par les pairs de plus en plus important se concentre sur le processus d'adaptation de l'infrastructure du Canada aux changements climatiques (figure 6). L'emploi d'outils tels que les évaluations de protocoles d'ingénierie du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) a permis de constater qu'une infrastructure bien maintenue est plus résiliente aux changements climatiques puisque souvent, il est possible de composer avec des modifications progressives aux tendances dans les régimes de température et de précipitation par des cycles réguliers d'entretien et de modernisation, ou par l'adoption de modifications aux politiques et procédures de fonctionnement et d'entretien (Andrey et al., 2014).

2.2.2 DÉFIS ÉCONOMIQUES

En général, les tentatives récentes d'évaluation des avantages économiques directs et indirects des régions côtières pour le bien-être local et national n'ont pas connu beaucoup de succès (p. ex., Mandale et al., 1998, 2000; Canmac Economics et al., 2002; Roger A. Stacey Consultants Ltd., 2003; le Conseil économique des provinces de l'Atlantique, 2004; Gardner et al., 2005, 2009; Newfoundland and Labrador Department of Finance, 2005; GSGislason & Associates Ltd., 2007; Heap, 2007; Kildow et al., 2009; Kildow et McIlroy, 2010). La détermination et l'évaluation économique des secteurs côtiers sont souvent compliquées par des interprétations concurrentes de la délimitation des zones côtières et de ce qui constitue une industrie côtière. Par exemple, à Terre-Neuve-et-Labrador, la valeur du secteur minier s'est accrue, passant de 967 millions de dollars en 2000 à 4,584 milliards de dollars en 2010 (Stothart, 2011). Une proportion considérable des produits de l'industrie minière est expédiée par voie maritime, mais de façon générale, l'industrie n'est pas considérée comme une « industrie côtière ».

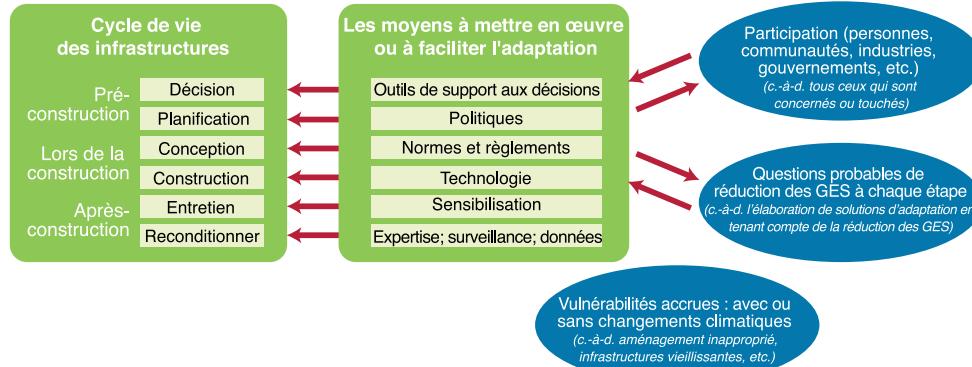


FIGURE 6 : Adaptation dans le cycle de vie de l'infrastructure (Larrivée et Simonet, 2007).

ENCADRÉ 1 CODES, NORMES ET INSTRUMENTS CONNEXES (CNIC)

(Andrey et al., 2014, p. 239)

Le Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP), sous la direction de l'organisation Ingénieurs Canada, s'est penché sur ses études de cas portant sur l'infrastructure des ressources en eau afin de formuler des recommandations quant à des changements aux Codes, normes et instruments connexes (CNIC). L'infrastructure des ressources en eau est visée par des CNIC de tous genres, notamment des règlements, des codes et des normes, des règlements administratifs de gouvernements locaux et des lignes directrices nationales. Le CVIIP a constaté que les données climatiques servant à l'élaboration des CNIC n'étaient pas toujours faciles à obtenir ou bien signalées, faisant en sorte que dans la mise à jour des CNIC, il ne s'agit pas tout simplement de mettre à jour les données climatiques qu'ils renferment. Les recommandations d'action relatives aux CNIC tiennent compte de la non-stationnarité du climat et du besoin de faciliter l'adaptation, notamment des manières suivantes : 1) améliorer les données climatiques; 2) considérer les options progressives au cours du cycle de vie de l'infrastructure; 3) élargir la portée des CNIC pour inclure le rendement physique, fonctionnel et opérationnel; 4) accroître la souplesse au niveau de la conception afin de permettre l'adaptation aux changements climatiques (CVIIP, 2012).

En Colombie-Britannique, selon les estimations issues d'une évaluation économique du secteur des océans comprenant la foresterie, la construction navale et les loisirs océaniques, la valeur du PIB annuel pour le secteur est de 5,7 milliards de dollars, créant 84 000 années-personnes en emplois (GSGislason & Associates Ltd., 2007; Gardner Pinfold Consulting Economists Ltd., 2009a, b). En 2013, les pêches maritimes commerciales du Canada ont atteint une valeur totale au débarquement de plus de 2,25 milliards de dollars (dont 89 % provenant de la région de la côte Est), auxquels 935 millions de dollars additionnels venaient s'ajouter grâce à la production de l'aquaculture (MPO, 2014b).

Par le passé et dans toutes les régions côtières du Canada, les secteurs économiques ont connu des hauts et des bas dans la prospérité des industries, notamment la foresterie, la construction navale, les pêches, les pâtes et papiers, l'extraction et la fusion des métaux communs. Dans certaines régions, de nouvelles industries d'extraction (p. ex. pétrolière et gazière) ont vu le jour et un certain nombre de villes côtières canadiennes sont de nos jours des pôles d'enseignement supérieur, d'activités de recherche et de développement technologique. En raison de l'évolution du climat,

certains de ces domaines devront faire face à de nouveaux défis s'ils veulent demeurer compétitifs sur les marchés locaux, nationaux et mondiaux.

LES PÊCHES

Certaines pêches de capture au Canada sont très sensibles à la variabilité et au changement climatiques (Barange et Perry, 2009; Rice et Garcia, 2011) alors que l'aquaculture marine est considérée en général comme plus apte à s'adapter à des conditions changeantes (Campbell et al., 2014). Le long des côtes méridionales, de nombreuses collectivités de pêcheurs ont connu des réductions dans les populations propres à la pêche, la fermeture des pêches ou des virages vers de nouvelles espèces cibles (Campbell et al., 2014). Les changements climatiques ont une incidence sur le comportement des poissons (p. ex. changements dans la répartition verticale et géographique et migrations quotidiennes), la composition des espèces et les chaînes alimentaires. Dans les régions où les collectivités sont largement dépendantes d'une seule pêche, l'adaptation comprend la diversification, notamment par des changements dans les espèces cibles et le virage vers d'autres industries (p. ex. tourisme côtier), ou bien l'émigration, ce qui peut avoir des répercussions sur le profil démographique et la structure de ces collectivités. Le long des côtes septentrionales, les changements dans la biodiversité ainsi que dans l'aire de répartition de bon nombre d'espèces marines et terrestres ont une incidence sur la disponibilité et la qualité des sources traditionnelles de nourriture dont dépendent bon nombre de collectivités, et sur l'accès à ces sources de nourriture (Furgal et Prowse, 2008; Hansen et al., 2008; Wheeler et al., 2010).

Lors d'une évaluation des pêches canadiennes et des changements climatiques à l'échelle nationale, Campbell et al. (2014) ont trouvé que : la poursuite des changements climatiques pourrait avoir pour conséquence des effets considérables sur la biodiversité et le biote qui soutiennent les pêches régionales; les effets en cascade de changements dans la production écosystémique pourraient donner lieu à des perturbations dans les phases du cycle de vie des espèces qui soutiennent les pêches; les aires de répartition et les populations des espèces pourraient changer; les espèces envahissantes pourraient faire une concurrence accrue. Malgré les défis anticipés à ces égards, Campbell et al. (2014) ont conclu que le Canada demeurera probablement un exportateur net d'aliments d'origine aquatique vu l'augmentation prévue de la biomasse totale de la production des pêches sauvages découlant des virages dans la répartition des poissons en raison de changements climatiques.

LA FORESTERIE, L'EXTRACTION MINIÈRE ET L'ÉNERGIE

Le long des côtes, les activités d'exploration et de mise en valeur ainsi que le traitement et l'expédition de ressources naturelles terrestres et marines sont vulnérables à des conditions environnementales dangereuses, lesquelles sont susceptibles d'augmenter sous l'effet des changements climatiques. Les effets biophysiques des changements climatiques sur les ressources naturelles sont assez bien compris à bien des égards, mais les

démarches en vue de s'assurer que les changements climatiques soient pris en considération au niveau de la planification et de la gestion des entreprises sont jusqu'ici limitées (Lemmen et al., 2014).

Les secteurs de la foresterie, de l'extraction minière et de l'énergie contribuent considérablement à l'économie des régions des côtes Est et Ouest du Canada, mais l'on ne dispose que de peu de données portant précisément sur les régions côtières. Par exemple, les activités minières dans les zones côtières comprennent l'extraction de métaux communs et l'exploitation de carrières afin de produire des matériaux de gros œuvre aux fins de construction de bâtiments et de routes. Les zones côtières offrent un accès facile à la mer pour le transport de biens d'exploitation et de matériaux en vrac. Les possibilités et les défis relevés à ce jour qui sont liés au climat et pertinents aux secteurs des ressources naturelles dans les régions côtières (Lemmen et al., 2014) comprennent les suivants :

- La réduction des glaces marines dans l'Arctique ouvrira des corridors de transport maritime, donnant ainsi plus d'accès à des fins d'exploration et de mise en valeur de nouvelles mines et mettant l'accent sur l'importance de la collaboration entre les sociétés minières et les utilisateurs traditionnels des terres et de la mer (p. ex. Lemmen et al., 2014; étude de cas 4, p. 79).
- Des changements dans le schéma des précipitations pourraient compromettre l'intégrité et la viabilité des bassins de résidus et les installations de traitement des eaux usées, ce qui pourrait accroître le risque de pollution des rivières et des eaux sublittorales par des contaminants.
- Là où les produits sont expédiés d'installations de chargement en vrac, il se peut qu'il faille procéder à des changements aux installations d'entreposage et aux quais (y compris les installations de chargement ou de déchargement) pour composer avec des conditions changeantes telles que des vents plus forts, de fortes pluies, l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête.

La variabilité et les changements climatiques (figure 7) ainsi que l'élévation du niveau de la mer auront une incidence sur la demande en ressources énergétiques dans les zones côtières et le transport de ces ressources. Les ressources énergétiques, y compris le charbon canadien et importé ainsi que le pétrole et le gaz extracôtiers, sont expédiées à des points de chargement ou de débarquement côtiers de la Colombie-Britannique, du Québec, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve-et-Labrador. Au sein du secteur, le choix de site des principaux terminaux de pipelines et des installations d'expédition des ressources énergétiques proposés sur les côtes Est et Ouest fait l'objet d'une attention toute particulière. Bon nombre de nouveaux projets de production d'énergie renouvelable, dont l'énergie hydroélectrique, éolienne et marémotrice, pourraient aussi être réalisés dans des zones côtières. De grands parcs éoliens ont déjà été établis dans des lieux tels que le marais de Tantramar dans la partie supérieure de la baie de Fundy, à Lower West Pubnico au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et au cap-North, situé à l'extrême nord-ouest de l'Île-du-Prince-Édouard. La mise

en valeur de l'énergie marémotrice dans la baie de Fundy en est aux premières étapes de l'évaluation environnementale et de la mise en place d'installations prototypes.

Récemment, des conditions météorologiques extrêmes ont fait des ravages au sein du réseau de transport de l'électricité de toutes les régions côtières du Canada et surtout sur la côte Est (notamment les ouragans Juan et Igor), touchant les vies de dizaines de milliers de personnes, entraînant des perturbations coûteuses dans l'approvisionnement en électricité et nécessitant des réparations importantes à l'infrastructure de transmission locale et régionale. Le secteur du pétrole et du gaz se penche depuis peu sur les risques possibles aux installations extracôtiers d'exploration et de production que peuvent entraîner l'augmentation du nombre de tempêtes et les dangers que posent les changements au niveau de l'état des glaces (Office national de l'énergie 2011; Lemmen et al., 2014).

LE TOURISME

Après le déclin des secteurs économiques classiques (tels que la pêche et la foresterie) dans certaines régions, le tourisme est devenu une industrie importante dans plusieurs régions côtières au Canada et constitue l'industrie primaire pour bon nombre de petites collectivités (tableau 1; Beshiri, 2005; Scott, 2011; Gouvernement du Canada, 2012a, b).

L'incidence de l'élévation du niveau de la mer sur l'infrastructure et les ressources du secteur du tourisme est une préoccupation dans certaines régions côtières. Certaines ressources culturelles (notamment l'archipel Haida Gwaii et la forteresse de Louisbourg) sont menacées par les niveaux d'eau plus élevés et les plages dans certaines régions (p.ex. le parc national de l'Île-du-Prince-Édouard) pourraient rétrécir ou disparaître. Les températures plus élevées sont aussi un facteur pouvant avoir des répercussions sur le secteur du tourisme : un climat plus chaud aura une incidence sur les activités hivernales telles que le ski et la motoneige (notamment à Whistler, en Colombie-Britannique et au parc national du Canada du Gros Morne, à Terre-Neuve) et prolongera la saison du tourisme d'été dans la plupart des régions. La saison d'été plus longue pourrait exercer des pressions accrues sur les parcs nationaux et provinciaux et d'autres aires protégées en raison d'un plus grand nombre de visiteurs (p. ex. dans le réseau de parcs nationaux, le nombre de visites pourrait augmenter de 30 % d'ici 2050; Jones et Scott, 2006). Là où les propriétaires et les exploitants dans le secteur du tourisme peuvent anticiper les effets climatiques et s'y adapter efficacement, les changements climatiques offriront des occasions de croissance économique dans de nombreuses régions du Canada. Toutefois, jusqu'à maintenant, le secteur du tourisme au Canada est considéré en général comme étant mal rédigé aux changements climatiques (Scott et al., 2008, 2012; KPMG, 2010), en partie en raison du fait qu'au niveau de la planification des affaires, on a tendance à se pencher sur des scénarios à court terme au sein desquels les changements climatiques sont généralement perçus comme étant sans importance par rapport à la variabilité climatique et d'autres facteurs.

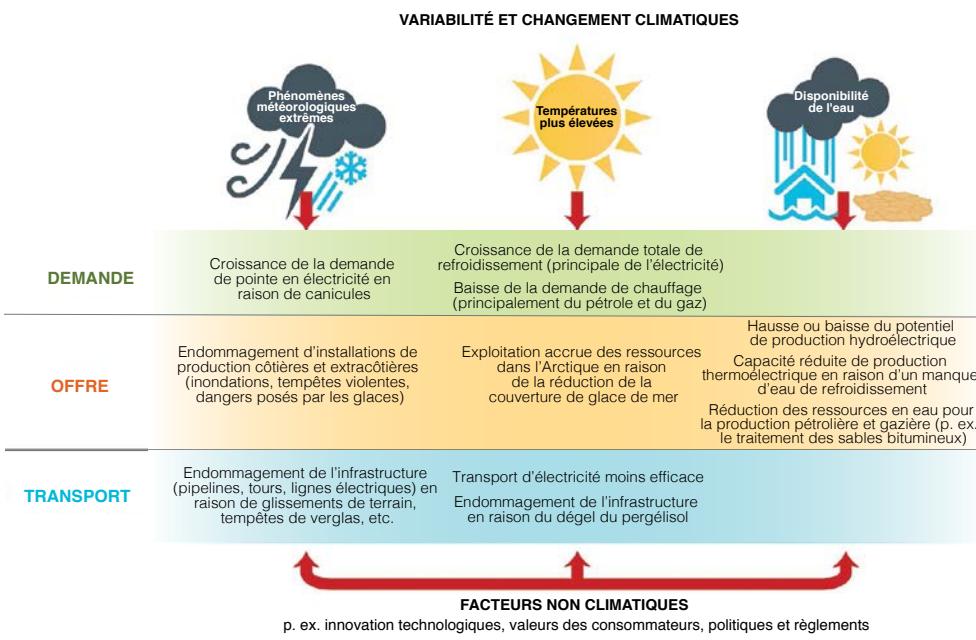


FIGURE 7 : Impact possible des changements climatiques sur le secteur de l'énergie touchant l'approvisionnement, le transport et la demande (Lemmen et al., 2014).

TABLEAU 1 : Contribution économique du tourisme dans les provinces et territoires côtiers du Canada (extrait modifié tiré de l'Association de l'industrie touristique du Canada, 2012). Les données présentées représentent la compétence au complet et non pas seulement les zones côtières dans bon nombre de provinces; ceci étant dit, le tourisme dépend principalement de ce qu'offrent les paysages et les attractions des côtes dans le cas de certaines d'entre elles.

Provinces et territoires	Produit intérieur brut en 2011 (en dollars indexés de 2002)	Emplois dans le secteur du tourisme en 2011
Terre-Neuve-et-Labrador	316 M\$	8 136
Île-du-Prince-Édouard	121 M\$	2 866
Nouvelle-Écosse	683 M\$	16 636
Nouveau-Brunswick	438 M\$	12 090
Québec	5 357 M\$	130 018
Colombie-Britannique	4 913 M\$	96 877
Yukon – Territoires du Nord-Ouest – Nunavut	147 M\$	Données non disponibles
Total	11,975 G\$	266 623

ASSURANCES ET INVESTISSEMENTS

Au Canada comme ailleurs, l'industrie des assurances et celle de la réassurance réagissent à la croissance rapide des pertes découlant de phénomènes climatiques extrêmes (figure 8; Kovacs et Thistlethwaite, 2014; Robinson, 2015). À l'échelle mondiale, les pertes sont particulièrement remarquables dans les milieux côtiers (H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, 2000; Keillor, 2003; Heap, 2007; Nicholls et al., 2008; Simpson et al., 2012). Au Canada, le risque de pertes catastrophiques en raison d'inondations causées par des ondes de tempête s'accroît à mesure que le niveau de la mer s'élève et que les conditions météorologiques mauvaises deviennent plus fréquentes (McBean et Henstra, 2003; Feltmate et Thistlethwaite, 2012). Stanton et al., (2010) ont prévu que d'ici les années 2020, le coût des dommages annuels aux côtes du Canada causés par l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête pourrait être de 2,6 à 5,4 milliards

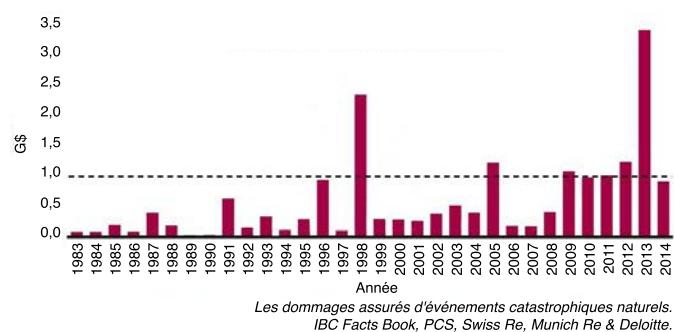


FIGURE 8 : Réclamations d'assurance en raison de catastrophes au Canada de 1983 à 2014. Valeurs en \$ CAD 2014. Le trait interrompu indique des réclamations d'assurance d'une valeur de 1 milliards de dollars. En 1998, les réclamations découlaient des tempêtes de verglas dans l'est du Canada. En 2013, les réclamations étaient attribuables aux inondations en Alberta et dans la région du Grand Toronto (extrait modifié tiré de Robinson, 2015).

de dollars et, selon les estimations, il pourrait grimper jusqu'à 48,1 milliards de dollars d'ici 2080. Partout au Canada et ailleurs dans le monde, les organismes et les établissements responsables de la gestion des urgences et de la réduction des risques de catastrophe cherchent à modifier les pratiques de planification et de conception afin de favoriser l'adoption de mesures d'adaptation proactive susceptibles de leur permettre de gérer plus efficacement les risques pour l'environnement et les services ainsi que pour la sécurité et le bien-être humains (H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, 2000; McBean et Henstra, 2003; Sussman et Freed, 2008; Banque mondiale 2008; Yohe et al., 2011; Feltmate et Thistletonwaite, 2012).

2.2.3 SANTÉ ET BIEN-ÊTRE HUMAINS

Les menaces découlant des changements climatiques pour la santé et le bien-être humains dépendent d'un bon nombre de facteurs, notamment l'exposition à des dangers climatiques, la sensibilité de certaines personnes et populations aux changements environnementaux (les personnes âgées et celles ayant des problèmes de santé préexistants étant généralement plus sensibles) et la capacité des personnes ou des populations à planifier de manière proactive en vue des changements ou à intervenir en cas de catastrophe (Seguin, 2008; Seguin et Berry, 2008; Costello et al., 2009). Le stress et l'anxiété relevant de phénomènes météorologiques extrêmes, de l'endommagement de biens et de la perte des moyens de subsistance peuvent porter atteinte à la santé tant physique que psychologique.

Peu de recherches ont été réalisées dans le domaine de la santé relativement aux changements climatiques et plus précisément sur les régions côtières du Canada (Dolan et al., 2005; Dolan et Walker, 2006). Des phénomènes tels que l'ouragan Igor à Terre-Neuve (étude de cas 1) témoignent de la manière dont les phénomènes climatiques extrêmes peuvent nuire à la capacité locale d'intervention d'urgence, aux soins actifs de santé et aux services pour les familles déplacées (Sécurité publique Canada, 2013). Les changements climatiques peuvent aussi nuire à la quantité et à la qualité des sources d'eau potable sous l'effet de températures plus élevées, de périodes de sécheresse et de fortes pluies causant la contamination de l'écoulement de surface et la salinisation des eaux souterraines en raison d'une demande croissante ou de l'infiltration de l'eau de mer qu'entraîne l'élévation du niveau de la mer (Lemmen et al., 2008). Les compétences du Canada atlantique se sont penchées sur le risque que pose l'infiltration de l'eau salée, surtout à l'Île-du-Prince-Édouard, où la population dépend entièrement des eaux souterraines pour s'approvisionner en eau potable. Dans certaines régions, l'infiltration de l'eau salée a déjà fait l'objet de rapports et la conjugaison des pressions exercées par le développement accru des côtes à l'élévation prévue du niveau de la mer porte à croire que le problème ne fera que s'aggraver à l'avenir (Prince Edward Island Department of Environment, Labour and Justice, 2011). En outre, dans certaines régions du Canada atlantique, la population rurale sur les côtes est vieillissante, ce qui accentue la vulnérabilité de cette population aux changements climatiques.

3 SE PRÉPARER AU CHANGEMENT

Les effets des changements climatiques varieront en fonction des régions et communautés diverses ainsi qu'en feront état en détail les chapitres suivants de la présente évaluation. L'ampleur de l'incidence est relative à un grand nombre de facteurs biophysiques et humains (voir les chapitres 1 et 2), dont celui de la capacité de la société humaine à s'adapter (Boateng, 2008; Simpson et al., 2012). Dans la présente section, on discute des facteurs touchant la réaction communautaire, notamment les complexités associées à la gouvernance des côtes et le rôle que jouent les perceptions et les valeurs. De plus, la section présente un survol des éléments clés du processus d'adaptation et discute d'approches d'adaptation. La définition de l'adaptation aux changements climatiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014, p. 5) est la suivante :

Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Dans les systèmes humains, il s'agit d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences.

3.1 GOUVERNANCE DES CÔTES

Au Canada, la gouvernance des zones côtières est souvent un processus complexe. La gestion des divers éléments se fait au moyen d'une grande gamme d'établissements et d'organismes, dont des ministères fédéraux et provinciaux, des administrations locales, des organismes non gouvernementaux ainsi que des agences et des sociétés indépendantes. Ces établissements fonctionnent selon des critères précis et ont des rôles et responsabilités déterminés par l'autorité des compétences respectives. Les ministères et les programmes de tous les ordres de gouvernement poursuivent des buts particuliers visant la mise en valeur, la conservation ou la gestion des activités et des biens des côtes. Dans certains cas, il se peut que ces buts ne soient pas harmonisés à l'échelle des compétences. Par exemple, les règlements fédéraux et provinciaux peuvent servir d'appui aux politiques et aux objectifs d'administrations locales. Par contre, dans certaines situations, ils peuvent constituer des obstacles à la prise de décisions locales, voire exiger la mise en place de modifications à de restrictions relatives au développement local (Burton, 2008). De plus, il peut être difficile pour les collectivités d'avoir accès aux données et aux compétences requises pour gérer les risques climatiques de manière efficace, puisque les données techniques sur les conditions côtières proviennent souvent de différents ordres du gouvernement, des ministères et d'organismes divers (Savard et al., 2009; Anthony et Sabatier, 2013).

De façon générale, le gouvernement fédéral et les gouvernements provinciaux et territoriaux régissent l'infrastructure des transports côtiers, notamment les ports et les havres, les traversiers, les aéroports, les réseaux routiers et les chemins de fer. Ils sont également responsables des processus d'évaluation environnementale et d'examen prévus par la loi, de la réglementation des

mesures prises pour protéger le littoral et de la gestion de secteurs tels que la santé, les transports et les ressources naturelles ainsi que de certains éléments d'autres secteurs, notamment les pêches, l'exploitation minière et l'exploitation du gaz et du pétrole. Les administrations locales et les collectivités des Premières nations sont responsables de la gestion de la plupart des activités d'aménagement des terres côtières à des fins résidentielles et commerciales ou pour des commerces au détail et des établissements au moyen d'outils tels que l'établissement de plans directeurs, le zonage, les normes de construction, l'inspection des bâtiments et les permis d'occuper (p. ex. Richardson et Otero 2012). Bon nombre d'autres organismes sont aussi actifs sur les côtes, notamment les administrations portuaires, les conseils d'administration des hôpitaux, les sociétés de parcs industriels et de plus en plus, des partenariats public-privé qui possèdent ou exploitent des infrastructures énergétiques et de gestion de l'eau, des eaux usées et des déchets solides. Les groupes de défense ou de préservation de l'environnement, les clubs philanthropiques locaux et d'autres organismes bénévoles peuvent aussi avoir une incidence importante sur les objectifs et pratiques de gestion et de planification locales.

L'absence de structures officielles de gestion des côtes aux fins de la surveillance ou de la coordination de la gouvernance des côtes au Canada a souvent été soulignée et depuis plus de 25 ans, une approche plus intégrée à la gestion des côtes a été recommandée (Hildebrand, 1989, 1995; Hildebrand et Norrena, 1992; Ricketts et Harrison, 2007). Cependant peu de progrès ont été réalisés en vue de mettre au point les outils institutionnels et réglementaires que rendent nécessaire l'obligation d'adopter une telle approche (Mercer Clarke, 2010).

3.2 PERCEPTIONS ET VALEURS

Les gens sont attirés aux côtes et les considèrent comme un espace de vie et de travail très apprécié, et ce malgré l'expérience de conditions météorologiques mauvaises (Spalding et al., 2014). La perception de risque et la valeur accordée à un bien menacé, que ce bien soit naturel ou bâti, peuvent varier considérablement (Niven et Bardsley, 2013). Souvent, on parle d'un phénomène climatique extrême selon la probabilité de son intervalle de récurrence (p. ex. « tempête du siècle »), mais il est difficile pour les gens de conceptualiser la gravité d'un tel phénomène ou d'en comprendre les répercussions. Alors que l'ouragan Juan frappait Halifax en septembre 2003, le Centre canadien de prévision des ouragans émettait des avertissements d'ouragan et de hautes vagues. Selon l'émission de nouvelles locales de Radio-Canada, il ne semblait pas que les avertissements de l'arrivée de Juan étaient pris au sérieux et qu'ils aient même eu pour effet indésirable d'attirer un certain nombre de gens à la côte pour voir les hautes vagues (CBC News, 2003). Par contre, en 2009, les attitudes avaient changé : 82 % des Néo-Écossais ayant répondu à un sondage croyaient que les conditions météorologiques mauvaises étaient devenues plus fréquentes. Ils disaient vérifier le bulletin météo tous les jours et prendre les mesures recommandées de précaution (Silver et Conrad, 2010). Les différences dans la perception du risque que présentent les changements climatiques peuvent avoir une influence sur le choix et la réussite des mesures d'adaptation (Eyzaguirre et Warren, 2014).

3.3 BUTS ET OBJECTIFS EN MATIÈRE D'ADAPTATION

Les principaux objectifs en matière d'adaptation consistent à atténuer l'incidence adverse des changements climatiques et à miser sur les nouvelles occasions (l'encadré 2 traite d'autres objectifs propres aux régions côtières). Une adaptation efficace renforce la résilience et la durabilité, améliore la santé et le bien-être et rehausse la valeur économique et la compétitivité. L'établissement d'objectifs aide à concentrer les efforts d'adaptation de façon à établir la priorité des activités, éviter des attentes non现实istes et obtenir le soutien nécessaire d'une vaste gamme d'intervenants.

Il est possible de faire progresser des objectifs généraux d'adaptation par l'atteinte d'objectifs ciblés (Simpson et al., 2012) qui :

- Se fondent sur une évaluation scientifique des changements au niveau des risques et de la vulnérabilité des côtes;
- Rehaussent l'état de préparation et l'intervention en cas d'urgence;
- Protègent l'infrastructure et les biens publics estimés et ayant une importance écologique et culturelle;
- Réduisent les facteurs de stress de nature non climatique sur les systèmes et les biens vulnérables;
- Réglementent les terres dangereuses par le zonage en vue d'en restreindre l'utilisation et d'y prévenir l'implantation de nouveaux projets d'aménagement;
- Encouragent l'aménagement dans des zones moins vulnérables;
- Intègrent les principaux intervenants dans les processus de prise de décisions relatives à l'adaptation.

ENCADRÉ 2 OBJECTIFS DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES EN MATIÈRE D'ADAPTATION

La liste suivante d'objectifs en matière d'adaptation a été dressée à partir de celle de Simpson et al., (2012) et d'autres études nationales et internationales (Ballinger et al., 2000; Field et al., 2001; Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2005; PNUE/GPA, 2005; United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2006a, b; Tomlinson et Helman, 2006; Commission océanographique intergouvernementale, 2009; Munang et al., 2009; OCDE, 2009; United Kingdom Department for Communities and Local Government, 2010; Government of Western Australia, 2012) :

- Réduire les risques pour la santé et la sécurité humaines;
- Maintenir la santé des écosystèmes côtiers;
- Réduire la vulnérabilité du milieu bâti et les risques pour le milieu bâti;
- Assurer l'accès public aux ressources côtières et l'utilisation publique de ces ressources;
- Maintenir et diversifier les options et les occasions relatives aux moyens de subsistance;
- Renforcer les cadres de gouvernance;
- Éviter de payer les coûts de risques privés en puisant des ressources publiques.

La collaboration est le principe fondamental de bon nombre d'initiatives en matière d'adaptation (Eyzaguirre et Warren, 2014). L'expérience dans les régions côtières semble indiquer que souvent, des activités itératives auxquelles participent des intervenants multiples et qui tentent de travailler avec les processus côtiers naturels plutôt que d'aller à l'encontre de ces derniers constituent la meilleure façon d'atteindre des objectifs en matière d'adaptation (Lane et al., 2013; Macintosh, 2013; Niven et Bardsley, 2013). Il y a de plus en plus d'exemples d'efforts de collaboration dans la planification à l'échelle locale en vue des changements climatiques entre intervenants provenant de divers milieux, notamment du gouvernement, des universités, d'établissements et de divers secteurs et professions (voir les chapitres 4 à 6; Bowron et Davidson, 2012; Lane et al., 2013).

On parle de plus en plus au cours de discussions théoriques sur l'adaptation aux changements climatiques de deux nouveaux concepts, soit le « changement transformationnel » et les « limites à l'adaptation ». Actuellement, la plupart des actions visant l'adaptation au Canada et ailleurs consistent en des changements cumulatifs aux systèmes existants (Eyzaguirre et Warren, 2014). Par changement transformationnel, on entend les changements aux attributs fondamentaux d'un système; le changement transformationnel peut être nécessaire en cas de limites à l'adaptation. Dans le Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007, p. 733), la définition des limites à l'adaptation est la suivante :

... les conditions ou les facteurs qui rendent l'adaptation inefficace comme réaction aux changements climatiques et qui sont largement insurmontables [traduction].

Les activités de recherche entreprises à ce jour au Canada n'ont porté que peu d'attention aux concepts de limites à l'adaptation et de changement transformationnel (Warren et Lemmen, 2014), mais il se peut que ces concepts s'appliquent particulièrement à certaines des questions relevant des côtes.

3.4 RÉDUIRE LA VULNÉRABILITÉ ET GÉRER LE RISQUE

La gestion du risque est un processus par lequel des collectivités, des organismes ou des particuliers évaluent leurs vulnérabilités respectives, déterminent les choix à faire et établissent la priorité de mesures à court et à long terme à mettre en œuvre afin d'éviter, de réduire ou d'éliminer ces vulnérabilités (Noble et al., 2005; Simpson et al., 2012). Dans l'évaluation des risques, il faut considérer la vraisemblance d'un impact (la probabilité) et l'ampleur de l'incidence (les conséquences). Pour trouver une stratégie efficace relative aux mesures d'adaptation, il faut considérer les conséquences tant souhaitées que non souhaitées (Lane et Stephenson, 1998). Dans la planification en vue de l'adaptation, il se peut que les choix reflètent la tolérance au risque, c'est-à-dire le niveau de risque qu'une personne ou une société est prête (ou capable) à accepter. La planification en vue de l'adaptation doit aussi considérer l'incidence du temps sur les processus de planification en tenant compte du fait qu'à mesure que les conditions et les connaissances à cet égard évoluent, les options en matière d'adaptation peuvent

aussi changer. Les processus itératifs de planification qui traitent de telles réalités en fonction du temps pourraient être les plus susceptibles d'offrir des options économiques aux collectivités en ce qui a trait à la gestion des risques qui leur sont pertinents. Par exemple, lors de la conception de structures qui servent à protéger contre des niveaux élevés d'eau, il est souvent préférable de construire des structures qui intègrent un certain degré de flexibilité afin de permettre des ajustements au fil du temps à mesure que le niveau de la mer s'élève (Aerts and Botzen, 2013).

L'affectation claire des coûts (et des bénéfices) de l'aménagement sublittoral aux personnes et aux organismes qui prennent la décision de mettre en valeur des zones sublittorales est l'une des considérations relevant de la gestion des risques (Titus, 1998; United States Climate Change Science Program, 2009; Titus et al., 2009). Tel que Stanton et al. (2012, p. 89) l'ont conclu, la mise en place s'impose de politiques et de pratiques en fonction desquelles les propriétaires sont prévenus explicitement qu'aucune protection ne sera fournie ni permise et qu'aucun dédommagement ne sera versé pour des pertes ou des dommages subis s'il est déterminé que l'aménagement ou l'occupation se fait dans une zone dangereuse. Même si de l'aide humanitaire sera toujours fournie en temps de crise, la gestion des risques exige par contre que l'on examine les raisons pour lesquelles les fonds publics devraient servir à compenser des dommages subis par des personnes qui défient les dangers connus afin de profiter des avantages de l'aménagement sur les côtes à risque sujettes à des dangers courants ou anticipés (p. ex. ondes de tempêtes et vents forts; Titus, 1998; United States Climate Change Science Program, 2009; Grannis, 2011). La décision de ne pas construire, ou de réimplanter des structures existantes et l'utilisation connexe dans des zones dorénavant déterminées comme dangereuses peut s'avérer difficile et contentieuse, qu'il s'agisse d'une décision prise en privé ou rendue nécessaire en raison de changements dans le zonage ou les exigences d'occupation.

3.5 PLANIFICATION DE L'ADAPTATION

Parmi les activités associées à la planification de l'adaptation en vue de changements climatiques sur les côtes, on compte la surveillance des conditions changeantes (tendances et projections), l'évaluation de données scientifiques et de connaissances nouvelles et l'application de ces dernières au soutien des politiques et pratiques et de la prise de décisions (Lane et al., 2013; Macintosh, 2013; Niven et Bardsley, 2013; Eyzaguirre et Warren, 2014). La planification de l'adaptation porte surtout sur l'évaluation des vulnérabilités, l'avancement de la gestion des risques et la détermination d'approches et d'outils les plus susceptibles d'assurer la durabilité et la résilience (Burby et al., 1999, 2000; Simpson et al., 2012).

En général, les efforts de planification de l'adaptation prennent la forme de processus itératifs qui s'engagent parfois sur bon nombre de chemins différents et peuvent comprendre divers éléments tels que la mise à jour de politiques, de lois et de règlements; la modification de pratiques opérationnelles; l'application de nouveaux outils et de nouvelles technologies; la révision des pratiques relatives aux investissements et aux assurances; la modification des comportements sociaux et des attentes (figure 9;

Eyzaguirre et Warren, 2014). Dans de nombreux cas, la façon la plus efficace d'entreprendre l'adaptation est dans le cadre de processus existants de planification et d'élaboration de politiques, une pratique grâce à laquelle il est possible d'intégrer l'adaptation en vue de changements climatiques dans le processus de planification plus général.

Les changements auront lieu sur diverses échelles spatiales et temporelles et nécessiteront souvent le recours à des stratégies souples qui préparent les collectivités à mieux affronter les nouvelles réalités associées aux dangers accrus et au cycle de vie moins long des bâtiments (figure 10). Les approches proactives à la planification tiennent compte du fait qu'en général, il est plus efficace et économique d'éviter ou de prévenir des dommages découlant de conditions météorologiques mauvaises ou de changements climatiques que d'intervenir en cas d'effets adverses et parfois catastrophiques (Nicholls et al., 2007; Stern, 2007; Tescult Inc., 2008; Anthoff et al., 2010; Stanton et al., 2010; Brown et al., 2011; Doiron, 2012; GIEC, 2014).

Afin de traiter du bien-être actuel et futur de manière efficace, la planification de l'adaptation doit aussi tenir compte d'une vaste gamme d'effets, liés les uns aux autres et souvent en cascade, sur les régions, les collectivités et les personnes (notamment les répercussions économiques touchant les industries primaires, le chômage, les dommages causés dans les parcs et les changements au niveau de la santé et du bien-être humains). La détermination et l'analyse de l'incidence de l'effet de retombée sur les quatre piliers (l'environnement, l'économie, la société et la culture) de la durabilité permettront d'assurer la compréhension par tous les secteurs de la société des enjeux pouvant avoir des conséquences pour la durabilité ainsi que la minimisation des effets négatifs et l'optimisation des nouveaux débouchés grâce à l'application d'efforts pertinents et opportuns.

Lorsque les processus d'adaptation ne sont pas fondés sur de bonnes informations ou l'attention prêtée à la planification et la conception est insuffisante, la conséquence peut être l'inadaptation, c'est-à-dire des mesures possiblement coûteuses et inadéquates à plus long terme qui, en fin de compte, accentuent les vulnérabilités aux changements climatiques (p. ex. ouvrages longitudinaux mal conçus; Bernatchez et al., 2008; Brown et al., 2011; Bernatchez et Fraser, 2012; GIEC, 2013, 2014). À court terme, les mesures inadaptées risquent aussi d'empêcher la mise en œuvre d'activités plus appropriées à l'avenir en consommant les ressources financières dont on dispose et en occupant des terres de valeur.

Le nombre d'exemples d'expérience pratique en planification de l'adaptation au Canada augmente sans cesse, particulièrement à l'échelle communautaire (p. ex. Forbes et al., 2009; Vasseur, 2012; Lane et al., 2013; Ressources naturelles Canada, 2014a). D'autres exemples sont présentés dans les chapitres portant sur les régions de la présente évaluation (voir les chapitres 4 à 6).

3.5.1 POLITIQUE, PLANIFICATION ET CONCEPTION DU DÉVELOPPEMENT LOCAL

Au Canada, la planification et la gestion de l'aménagement des terres se font au sein de gouvernements et de secteurs divers, mais elles sont souvent la responsabilité d'administrations locales. On compte au nombre des principaux instruments directeurs, les plans

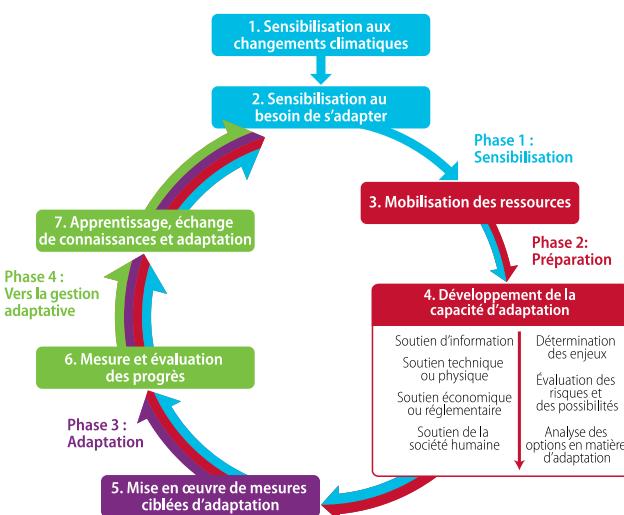


FIGURE 9 : Étapes du processus de planification de l'adaptation (Eyzaguirre et Warren, 2014).

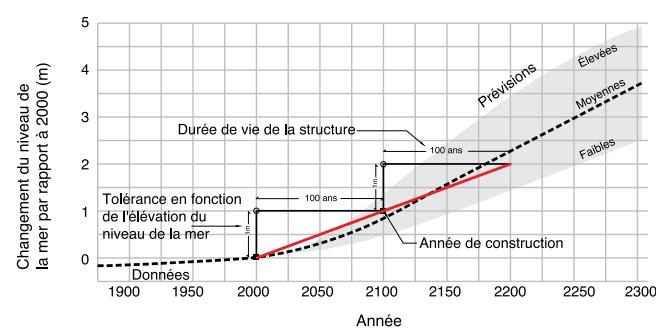


FIGURE 10 : Effets cumulatifs de l'élévation du niveau de la mer sur la planification de structures dont le cycle de vie prévu est de 100 ans (extrait modifié tiré de Ausenco Sandwell, 2011b). La tolérance adoptée en fonction de l'élévation du niveau de la mer dépend de la date de construction d'une structure et du changement prévu dans le niveau de la mer pendant le cycle de vie prévu de la structure. Cette tolérance constitue la base par rapport à laquelle on tient compte d'autres effets tels que les ondes de tempête et la remontée des vagues qui sont des facteurs associés aux niveaux d'eau extrêmes.

régionaux et municipaux officiels, les règlements administratifs, le zonage, les servitudes de protection et les codes du bâtiment (p. ex. Richardson et Otero, 2012). L'emploi de ces instruments donne lieu à de nombreuses possibilités permettant de mieux gérer les risques liés aux changements climatiques. Les collectivités pourraient avoir l'autorité de modifier leurs plans respectifs (p. ex. celle de désigner des zones telles que des plaines inondables comme non convenables à l'aménagement) et d'établir des lignes directrices relatives à l'aménagement et à la conception. Toutefois, elles doivent souvent se conformer aux lignes directrices et aux règlements fédéraux, provinciaux ou territoriaux.

Le risque de responsabilité légale et la possibilité de répercussions financières connexes peuvent être des facteurs dans le choix d'options en matière d'adaptation (voir le chapitre 6). Les responsabilités pourraient être associées aux approbations existantes de zonage de nouveaux aménagements dans des zones qui, selon les prévisions, sont susceptibles d'être touchées par la hausse du niveau de la mer, ou associées à l'élaboration de règlements de zonage plus restrictifs visant à limiter l'aménagement dans les

zones à risque d'inondation ou d'endommagement en raison de ondes de tempête ou d'autres dangers météorologiques. Étant donné la longue durée de vie et les coûts de bon nombre d'investissements dans l'infrastructure, il est important de disposer de solides données techniques sur la vulnérabilité climatique afin d'affecter des ressources de manière appropriée aux projets d'expansion et de mise à niveau. La mise à jour des codes du bâtiment et des lignes directrices fondées sur les pratiques exemplaires afin de tenir compte de l'évolution des conditions environnementales peut aider à établir des critères proactifs en matière de conception.

3.5.2 PLANIFICATION EN VUE DE L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

Pour les collectivités côtières sur les côtes Est et Ouest du Canada et celles sur le littoral de la mer de Beaufort dans la région de la côte Nord, l'élévation du niveau de la mer pose un défi considérable au niveau de la planification de l'adaptation. À mesure que le niveau moyen de la mer monte, le risque d'inondation s'accroît (Hinkel *et al.*, 2014), et à mesure que les eaux sublittorales deviennent plus profondes, des vagues plus hautes et plus destructrices atteindront les zones exposées de la côte (voir le chapitre 2). Les risques comprennent la dégradation et la perte d'écosystèmes côtiers, l'endommagement de l'infrastructure (p. ex. routes, bâtiments et ports) et les dangers connexes pour la santé et la sécurité humaines (voir les chapitres 4 à 6). En général, plus le niveau de la mer monte, plus les risques sont importants.

L'évaluation de la vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer et l'élaboration de stratégies efficaces d'adaptation sont orientées par divers facteurs, notamment la tolérance au risque du décideur (que ce soit la communauté, l'industrie ou le gouvernement). La tolérance au risque est déterminée après une évaluation informée, qui quoique parfois subjective, tient compte en général de

nombreux facteurs, dont la valeur et le cycle de vie des biens à risque, les conséquences économiques, sociales et environnementales d'effets négatifs (p. ex. inondation) et la capacité d'un système à se rétablir des effets, ou de s'adapter en fonction de ces derniers. La tolérance au risque d'inondation sera faible dans les compétences responsables de zones côtières comptant des biens irremplaçables ou essentiels ou des structures dont la durée de vie est longue. Par contre, la tolérance au risque sera plus élevée dans les compétences où peu d'infrastructure est existante ou prévue sur les côtes (encadré 3; Parris *et al.*, 2012).

Les scénarios de changements climatiques permettent d'établir une gamme de projections plausibles quant à l'élévation du niveau de la mer. Connaître le niveau de tolérance au risque permet de déterminer la projection de la hausse de la mer (en fonction des scénarios de changements climatiques) dont il faudra tenir compte. Par exemple, la plage probable de l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale d'ici 2100, telle qu'elle est présentée dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC et employée dans le présent rapport ainsi que dans le document de James *et al.*, (2014, 2015) aux fins de projections des changements du niveau relatif de la mer au Canada (voir le chapitre 2, à l'encadré 8 pour une discussion détaillée), est de 28 à 98 cm (tableau 2). Un autre scénario considéré dans le cadre de ce rapport et dans le document de James *et al.*, (2014, 2015), soit le scénario dit « scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique », prévoit une élévation encore plus importante du niveau de la mer (tableau 2). Il est possible que le niveau de la mer monte encore plus, bien que les auteurs du Cinquième rapport d'évaluation du GIEC disent avoir peu de confiance en des prévisions « semi-empiriques » du niveau de la mer (voir le chapitre 2; GIEC, 2013). La relation entre la tolérance au risque et les scénarios prévoyant l'élévation du niveau de la mer est bien décrite dans Parris *et al.*, (2012).

ENCADRÉ 3

SCÉNARIOS PRÉVOYANT L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER ET L'ÉVALUATION NATIONALE DU CLIMAT DES ÉTATS-UNIS

Des scénarios prévoyant l'élévation du niveau de la mer ont été créés aux fins de la United States National Climate Assessment (évaluation nationale du climat des États-Unis) réalisée par la United States National Oceanic and Atmospheric Administration (Parris *et al.*, 2012). Les scénarios ont été conçus en vue de permettre la prise en considération de multiples conditions futures et la détermination de multiples options d'intervention dans le but de mettre en place des mesures susceptibles d'atténuer les impacts des changements climatiques à l'avenir. Ainsi, aucune probabilité ni vraisemblance précise n'est affectée aux scénarios individuels. De plus, le rapport souligne qu'aucun des scénarios ne doit être utilisé séparément. Les quatre scénarios prévoient une élévation de la mer allant de 20 à 200 cm au-dessus du niveau moyen de la mer établi en 1992, tenant ainsi compte de la plage entière de changements dans le niveau de la mer d'ici 2100 : la probabilité d'une hausse du niveau de la mer d'au moins 20 cm, sans toutefois dépasser 200 cm, est évaluée à plus de 90 % (Parris *et al.*, 2012).

Dans la prise de décisions, les prévisions les plus optimistes de l'élévation du niveau de la mer (la hausse la moins importante du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale) conviennent dans les cas où la tolérance au risque est élevée, et les prévisions les plus pessimistes (la hausse la plus importante du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale) conviennent dans les cas où la tolérance au risque est faible. Voici un exemple de situation où la tolérance au risque est très faible : la planification d'une nouvelle infrastructure dont le cycle de vie anticipé est long, notamment une centrale (Parris *et al.*, 2012).

Malgré l'écart assez important dans les changements anticipés du niveau de la mer d'ici 2100 entre les divers scénarios, il s'agit pour la plupart de changements au cours de la deuxième moitié du XXI^e siècle (voir le chapitre 2, figure 21). Le choix de projection de l'élévation du niveau de la mer n'a pas beaucoup d'effet sur la tolérance au risque dans un horizon de planification à court ou à moyen terme (c'est-à-dire de 10 à 30 ans). Toutefois, étant donné les prévisions selon lesquelles le niveau de la mer à l'échelle mondiale continuera de s'élever au cours du siècle et bien au-delà de 2100 (voir le chapitre 2; GIEC, 2013), en général les efforts de planification doivent tenir compte des répercussions à plus long terme.

Les coûts sont souvent un facteur clé dans la prise de décisions en matière d'adaptation. Dans de nombreux cas, une planification de plus haut niveau (c'est-à-dire en fonction d'une élévation plus importante du niveau de la mer) ferait grimper les coûts associés aux options d'adaptation. Par exemple, à l'échelle mondiale, Hinkel et al., (2014) ont établi que les coûts des digues (ce qui comprend

la construction, la modernisation et le maintien des digues) en 2100 variaient en fonction du scénario climatique appliqué : selon le scénario à émissions faibles (RCP2.6), les coûts estimés varient de 12 à 31 milliards de dollars américains et selon le scénario à émissions élevées (RCP8.5), de 27 à 71 milliards de dollars américains. Une planification itérative et souple, au cours de laquelle on peut sélectionner et mettre en œuvre des options qu'il est possible de revoir et de mettre à jour au fil du temps, constitue un moyen de réduire les coûts actuels et de faciliter, le cas échéant, l'intégration aux processus de prise de décisions des changements éventuels à l'état des connaissances scientifiques au sujet des prévisions sur le niveau de la mer ainsi que tout autre changement qui pourrait survenir. L'expérience de la province de la Colombie-Britannique est un exemple de planification itérative appliquée au problème de l'élévation du niveau de la mer et de la durée de temps qui peut s'écouler avant que l'on soit en mesure d'apporter des changements éclairés aux politiques (étude de cas 2; voir le chapitre 6).

TABLEAU 2 : Relation entre la tolérance au risque et les changements prévus du niveau de la mer d'ici 2100.

Tolérance au risque de l'élévation du niveau de la mer	Scénarios de changements climatiques*	Hausse du niveau de la mer** à l'échelle mondiale d'ici 2050 (en cm)	Hausse du niveau de la mer à l'échelle mondiale d'ici 2100 (en cm)	Commentaires	Plage des projections des changements du niveau relatif de la mer à l'échelle du Canada d'ici 2100*** (en cm)
Plus élevée	Scénario à émissions faibles (RCP2.6)	Médiane : 22 cm Plage : 16 à 28 cm	Médiane : 44 cm Plage : 28 à 61 cm	28 cm représente le seuil inférieur de la plage probable**** telle qu'elle est déterminée dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC	-109 à 62
Élevée	Scénario à émissions modérées (RCP4.5)	Médiane : 23 cm Plage : 17 à 29 cm	Médiane : 53 cm Plage : 36 à 71 cm	—	-100 à 71
Faible	Scénario à émissions élevées (RCP8.5)	Médiane : 25 cm Plage : 19 à 32 cm	Médiane : 74 cm Plage : 52 à 98 cm	98 cm représente le seuil supérieur de la plage probable telle qu'elle est déterminée dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC	-84 à 93
Plus faible	Scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique	Non précisée	139 cm	Comportant la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique	-13 à 168

* Voir le chapitre 2, encadré 7 pour une description des scénarios.

** Les projections climatiques et du niveau de la mer dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC reflètent une synthèse des résultats de modèles informatiques provenant d'un certain nombre de centres de modélisation climatique. Les résultats mis ensemble sont souvent présentés sous forme de moyenne (médiane) et un intervalle de confiance est exprimé en centiles. La plage présentée ici représente l'intervalle de confiance de 90 % (du 5^e centile au 95^e centile). Au 5^e centile, 5 % des passages de modèle étaient inférieurs. Au 95^e centile, 95 % des passages de modèle étaient inférieurs. Même si les 5^e et 95^e centiles ne sont pas de vrais seuils, ils sont souvent considérés comme des seuils inférieurs et supérieurs de prévisions aux fins d'un scénario.

*** En fonction de prévisions faites à 59 sites sur les trois côtes du Canada. Les valeurs représentent la plage des prévisions moyennes pour chacun des scénarios. Elles montrent la forte influence du mouvement vertical de la terre sur les prévisions du changement du niveau relatif de la mer au Canada.

**** Selon le Cinquième rapport d'évaluation du CIEG, la plage probable a une probabilité de 66 à 100 %. La probabilité que le changement actuel observé se situe à l'extérieur de cette plage est donc de 33 %. En ce qui concerne la hausse du niveau de la mer à l'échelle mondiale, l'incertitude est surtout associée au seuil supérieur.

ÉTUDE DE CAS 2

PLANIFIER EN FONCTION DE L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

(tiré de BC Ministry of Environment, 2013; Andrey et al., 2014)

Au cours des dernières années, une série de mesures prises en Colombie-Britannique ont facilité l'intégration de nouvelles données scientifiques sur les changements du niveau de la mer dans les politiques et les processus de planification (figure 11; voir le chapitre 6). De nouvelles estimations des changements futurs du niveau de la mer sont issues d'une analyse du mouvement vertical des terres dans la région et des prévisions générales de l'élévation du niveau de la mer (Bornhold, 2008; Thomson et al., 2008); ces nouvelles données auront des répercussions importantes sur le système actuel de digues littorales qui protègent les infrastructures et les propriétés importantes (figure 12). Des analyses subséquentes réalisées par le gouvernement de la Colombie-Britannique, l'Association of Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia (APEGBC) et d'autres avaient pour but d'aider les décideurs et les planificateurs à intégrer l'élévation du niveau de la mer à l'évaluation du risque d'inondation, à la cartographie des plaines inondables côtières, à la conception des digues littorales et à la planification de l'aménagement des terres (p. ex. Delcan, 2012). Les participants à l'élaboration de lignes directrices conçues aux fins de planification ont entrepris le travail en reconnaissant explicitement qu'il leur faudrait occasionnellement réexaminer ces lignes directrices afin de tenir compte de nouvelles informations et expériences pratiques.

Au nombre des éléments issus des analyses diverses réalisées à ce jour, on note les suivants :

- Une recommandation selon laquelle dans l'aménagement côtier, il faudrait planifier en vue d'une élévation de la mer de 0,5 m d'ici 2050, de 1,0 m d'ici 2100 et de 2,0 m d'ici 2200, modifiée en fonction du mouvement vertical local des terres;
- Des rapports techniques dont l'objet consiste à orienter le calcul de l'élévation de la crête des digues littorales ainsi que des mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation qui tiennent compte de la hausse du niveau de la mer, de la dénivellation due au vent, des ondes de tempête et de la remontée des vagues;
- De l'orientation en matière de planification en prévision de l'élévation du niveau de la mer, y compris la désignation de « zones de planification en fonction de l'élévation du niveau de la mer » par les administrations locales;
- Un rapport sur des simulations des effets de la hausse de la mer et des changements climatiques sur les scénarios d'inondation du fleuve Fraser (BC Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, 2014);

- Un rapport qui présente une comparaison des coûts de diverses options en matière d'adaptation, allant de la construction de digues à la protection contre les inondations en passant par la gestion du retrait (Delcan, 2012); selon l'étude, il est estimé que les coûts des travaux nécessaires de modernisation de l'infrastructure le long des 250 km de littoral endigué et dans les basses terres de Metro Vancouver afin de composer avec une hausse du niveau de la mer de 1 m, y compris l'addition nécessaire de mesures parasismiques, s'élèveraient à environ 9,5 milliards de dollars;
- Des lignes directrices sur la pratique professionnelle destinées aux ingénieurs et aux géoscientifiques afin d'assurer la prise en considération des changements climatiques dans les évaluations du risque d'inondation;
- Des lignes directrices sur la conception parasismique de digues dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique, axées sur des facteurs à considérer dans la conception parasismique de digues dont la défaillance entraînerait des conséquences graves.

Cette analyse régionale a incité la municipalité à prendre des mesures. Par exemple, la Ville de Vancouver a offert des ateliers à des ingénieurs, des promoteurs et des membres du personnel de la Ville portant sur l'adaptation de l'infrastructure côtière. À leur tour, ces ateliers ont incité la Ville à examiner ses politiques en matière de protection contre les inondations. En 2013, Vancouver est devenue la première ville en Colombie-Britannique à tenir compte de façon officielle d'une élévation du niveau de la mer de 1 m dans les exigences relatives à la planification et à l'aménagement. Actuellement, la Ville étudie un certain nombre d'autres options en matière de planification de l'aménagement.

Pour que d'autres puissent profiter des nombreuses années de travail et des extraits produits pour la Colombie-Britannique, un groupe de travail composé de représentants du gouvernement fédéral, des gouvernements provinciaux, des administrations locales, de l'industrie et du milieu universitaire ainsi que des praticiens a travaillé en collaboration sur un guide d'introduction national à l'élévation du niveau de la mer, le *Sea Level Rise Primer* (<http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/climate-change/policy-legislation-and-responses/adaptation/sea-level-rise/slri-primer.pdf>), comprenant des exemples de la Colombie-Britannique, du Québec et des provinces de l'Atlantique. Le guide d'introduction aide les collectivités à déterminer leurs options en matière d'adaptation, de les évaluer et de les comparer. De plus, il présente des outils réglementaires et de planification, des outils pour la modification ou la restriction de l'aménagement des terres ainsi que des outils structuraux et non structuraux.

À l'aide d'un nouveau concept lié à la tolérance au risque, au changement du niveau de la mer et à l'inondation, on cherche à déterminer l'élévation à laquelle les inondations causées par des ondes de tempête auront lieu à l'avenir à la même fréquence que les inondations actuelles. De telles informations peuvent éclairer les décisions prises au sujet du choix d'élévations

utilisées dans la planification d'aménagements ou de projets. Des recherches récentes ont permis de mettre au point des méthodes à l'aide desquelles il est possible de déterminer les valeurs de ces élévarions (p. ex., Thompson et al., 2009; Hunter, 2010; Hunter et al., 2013; Zhai et al., 2013, 2014). Ces valeurs sont supérieures à

celles du changement prévu du niveau moyen de la mer tout simplement en raison d'incertitudes quant à l'élévation du niveau relatif de la mer à laquelle vient s'ajouter le caractère récurrent des ondes de tempête.

Chronologie des jalons de l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer

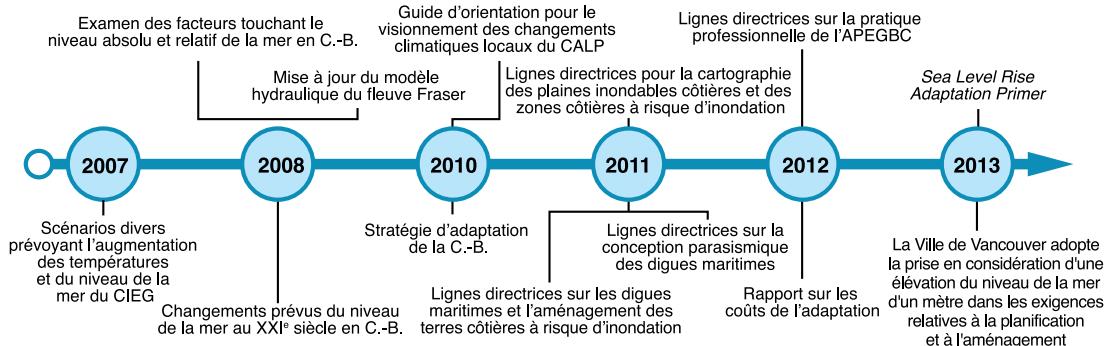


FIGURE 11 : Chronologie des jalons en vue de l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer en Colombie-Britannique (extrait modifié tiré de Sustainability Solutions Group et MC3, 2013). Abréviations : APEGBC, Association of Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia; CALP, Collaborative for Advanced Landscape Planning.

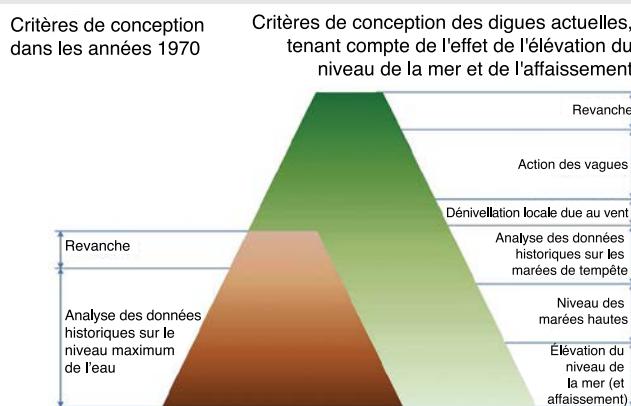


FIGURE 12 : Différences de concept entre les approches nouvelles et anciennes de conception de digues littorales (Delcan, 2012).

3.5.3 OUTILS POUR FACILITER L'ADAPTATION

Depuis quelques années, le nombre d'instruments et d'outils conçus en vue de faciliter la planification de l'adaptation et d'adopter les mesures qui s'imposent le long des côtes s'est accru. Avec la participation du milieu universitaire et des praticiens professionnels, les activités de recherche ont de plus en plus pour résultat la mise au point d'autres outils pour venir en aide à la prise de décisions. On compte parmi les exemples récents au Canada, les outils suivants : le protocole du CVIIP (encadré 4); le Sea Level Rise Primer (étude de cas 2; Arlington Group Planning et al., 2013); les lignes directrices en vue de l'adaptation aux changements climatiques concernant les digues et l'aménagement des terres compte tenu des dangers d'inondation côtière en Colombie-Britannique (Ausenco Sandwell, 2011a-c); les lignes

directrices s'appliquant à la gestion des risques dans l'aménagement du littoral à Halifax, en Nouvelle-Écosse (Halifax Regional Municipality, 2007). En outre, il y a de plus en plus d'exemples de collectivités côtières (notamment Gibsons, en Colombie-Britannique et Charlottetown, à l'Île-du-Prince-Édouard) qui ont eu recours à des données provenant de nouvelles recherches sur les changements prévus du niveau de la mer et des ondes de tempête pour éclairer leurs processus respectifs de planification de leurs zones portuaires et de front de mer (voir les chapitres 4 à 6).

L'emploi de mesures d'incitation afin d'encourager la planification de l'adaptation ou de mesures de désincitation afin de décourager l'aménagement et l'exploitation par les humains de zones à risque s'avère lui aussi un outil pratique pour les gouvernements ainsi que pour le secteur financier et le secteur des assurances. Ces derniers peuvent réclamer un prix plus élevé pour

assurer une propriété considérée à plus grand risque, ou décider de ne pas l'assurer (Aid Environment, 2004; Grannis, 2011; Simpson et al., 2012). Voici divers types de mesures :

- **Les mesures d'incitation**, qui encouragent des activités bénéfiques (notamment une baisse des impôts fonciers du moment que l'aménagement de propriétés se fasse en retrait des côtes);
- **Les mesures de désincitation**, qui pénalisent les promoteurs qui entreprennent des activités considérées comme non durables (notamment l'imposition d'amendes dans le cas de remblayage de marais côtiers ou d'extraction de sable des plages);
- **Les mesures d'incitation indirecte**, afin d'effectuer des changements positifs par l'application de la planification et de la conception progressives (p. ex. traitement des eaux usées afin d'assurer la durabilité de la végétation côtière et recours à la recharge des plages plutôt qu'aux épis et aux ouvrages longitudinaux).

ENCADRÉ 4

EMPLOI DU PROTOCOLE DU CVIIP AUX FINS D'ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DE L'INFRASTRUCTURE

Le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) est un outil important qui aide à évaluer la vulnérabilité de l'infrastructure. Le CVIIP est composé de représentants de gouvernements et d'organismes non gouvernementaux ainsi que d'ingénieurs et a pour objectif, entre autres, de s'assurer que la question des changements climatiques soit prise en considération lorsqu'il s'agit de planifier, de concevoir, de construire, d'exploiter, d'entretenir et de remettre en état des infrastructures publiques au Canada (CVIIP, 2014). Son protocole consiste en un processus formel, applicable à tout type d'infrastructure (p. ex. bâtiments, routes et systèmes de distribution d'eau), permettant d'évaluer la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures aux effets climatiques actuels et futurs et aux risques connexes. Parmi les études de cas réalisées jusqu'à présent, certaines sont d'un intérêt particulier pour les régions côtières, tels que le démontrent les exemples suivants :

- L'infrastructure de collecte des eaux d'égout dans la région de Vancouver, en Colombie-Britannique (Kerr Wood Leidal Associates Ltd., 2008);
- L'infrastructure des ressources en eaux à Placentia, à Terre-Neuve-et-Labrador (Catto, 2008);
- L'usine de traitement des eaux d'égout à Shelburne, en Nouvelle-Écosse (ABL Environmental Consultants Limited, 2011).

Certaines mesures d'incitation sont involontaires, notamment celles qui récompensent des activités non durables (p. ex. zonage inadéquat de l'aménagement des terres ou application inadéquate des règlements de zonage menant tous deux à la mise en valeur effrénée des régions côtières; avantages agricoles offerts pour l'assèchement des marécages; et financement du remplacement d'infrastructures de collecte des eaux de pluie endommagées, mais sans pour autant prévoir leur élargissement).

Le gouvernement de la Nouvelle-Écosse s'est servi de mesures d'incitation pour encourager les collectivités à établir des Municipal Climate Change Action Plans (plans d'action municipaux relatifs aux changements climatiques) ou MCCAP, dont l'objet est de consigner leurs efforts en matière d'atténuation et d'adaptation. Dans le cadre de l'accord de prolongation du Fonds fédéral de la taxe sur l'essence de 2010 à 2014 et de l'entente de financement des municipalités, la province exige des collectivités qui cherchent à avoir accès aux revenus de la taxe d'accise sur l'essence qu'elles préparent un MCCAP pouvant servir de modification à leurs plans intégrés de développement communautaire respectifs (voir le chapitre 4; Comté de Richmond, 2013).

3.6 APPROCHES D'ADAPTATION

Les options existantes suivantes en matière d'adaptation côtière sont souvent regroupées en quatre catégories générales : 1) aucune intervention active; 2) atténuation; 3) protection; 4) évitement ou retrait (Boateng, 2008; Chouinard et al., 2008; Vasseur et Catto, 2008; Commission océanographique intergouvernementale, 2009; Linham et Nicholls, 2010; Nicholls, 2011; Simpson et al., 2012; Arlington Group Planning et al., 2013; Niven et Bardsley, 2013). Ces catégories servent surtout lors de discussions sur l'incidence prévue sur les côtes de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête (figure 13), mais elles peuvent aussi s'appliquer à une plus vaste gamme de dangers et de risques associés aux phénomènes météorologiques violents et aux changements environnementaux (p. ex. précipitations plus intenses ou sécheresses, chaleur ou froid extrême et glissements de terrain).

La plupart des plans d'adaptation comprendront un certain nombre d'initiatives provenant d'une ou de plusieurs de ces catégories d'intervention, choisies en vue de corriger une gamme

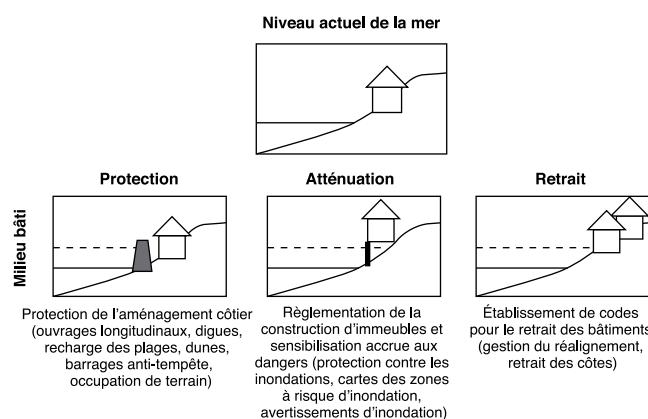


FIGURE 13 : Représentation schématique de mesures d'intervention relatives à l'élévation du niveau de la mer : protection, atténuation et retrait (extrait modifié tiré de Linham et Nicholls, 2010, selon GIEC, 1990).

de vulnérabilités et de risques locaux qui changera au fil du temps. Par exemple, mises ensemble, la recharge des plages et des structures de protection côtière peuvent s'avérer une option fiable et économique dans certaines situations, mais souvent, pour peu de temps.

3.6.1 AUCUNE INTERVENTION ACTIVE

Par « aucune intervention active », on entend la prise de décisions par des décideurs, en connaissance de cause, de ne prendre aucune mesure pour le moment, en se fondant sur une compréhension approfondie des risques possibles. L'absence d'intervention active est une intervention appropriée quand il n'y a pas de risque important, quand il y a peu à faire de façon réaliste pour éviter ou réduire les dangers, ou quand le recours à l'action au moment présent constitue une affectation inappropriée de ressources par rapport à la possibilité qu'une menace puisse se présenter à l'avenir. L'absence d'intervention active est une intervention inappropriée quand elle relève de l'indifférence, mais peut être appliquée dans les cas où les collectivités n'ont accès qu'à des ressources limitées. En général, l'incertitude n'est pas une justification valide pour remettre à plus tard les efforts d'adaptation (p. ex. Lemmen et al., 2008; Macintosh, 2013; Niven et Bardsley, 2013).

3.6.2 ATTÉNUATION

Par l'atténuation, on cherche à réduire le risque de dangers pendant l'exploitation continue de l'infrastructure, des terres et des eaux par les humains. Généralement, l'atténuation permet des impacts occasionnels et à court terme (p. ex. impacts de tempêtes ou d'inondations saisonnières) et constitue une intervention appropriée lorsque le côté pratique de la protection des biens côtiers n'en vaut pas le coût ou lorsque l'efficacité de la mesure d'atténuation serait relativement de courte durée. La prise de mesures d'atténuation peut comprendre des modifications aux lignes directrices et aux normes de planification et de conception afin de : mieux se préparer en cas de périodes de chaleur et de froid extrêmes; mieux se protéger contre les inondations (notamment l'élévation de bâtiments ou la mise en place de liens de transport de remplacement); renforcer les normes relatives à la conception et à la construction dans les codes et les règlements, ainsi que les restrictions imposées par les assureurs et les établissements financiers (Arlington Group Planning et al., 2013).

La protection de bâtiments contre les inondations et une meilleure gestion des eaux pluviales (p. ex. mise en place d'une tuyauterie de plus grand diamètre dans les réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales afin de réduire le risque d'inondation, et recours à l'aménagement à incidences limitées afin de réduire l'écoulement dans les réseaux d'évacuation des eaux pluviales et favoriser la restauration des eaux souterraines) constituent des exemples de mesures d'atténuation. La tolérance de l'inondation temporaire de zones non essentielles (p. ex. stationnements et terrains de jeu) constitue un autre exemple. Sur les côtes, les mesures d'atténuation comprennent souvent des mesures de type « sans regrets » et « sans coûts », telles que la protection des marais salés locaux, ou de type « faibles regrets » et « coûts modérés », telles qu'une exploitation limitée de zones désignées (Füssel, 2007).

3.6.3 PROTECTION

On a recours à des mesures de protection depuis des siècles en vue de réduire le risque et accroître la sécurité dans les milieux sublittoraux et par le passé, la protection constituait la méthode préférée pour composer avec l'érosion du littoral sur la plupart des côtes du Canada. Les mesures de protection comprennent des mesures structurelles et non structurelles.

Les mesures structurelles peuvent réduire la vulnérabilité et le risque par la protection de l'infrastructure côtière, là où elle se trouve, en assurant l'immobilité du littoral et le maintien des utilisations courantes (Bijlsma et al., 1996). Voici des exemples de mesures structurelles :

- Les structures sur le littoral, notamment des ouvrages longitudinaux ou des cloisons construites en pierre de carapace, en béton ou en parois de palplanches;
- Les structures de protection contre les inondations, notamment des digues, des aboiteaux et des barrages anti-tempête conçus de façon à empêcher les eaux de crue d'entrer dans les cours supérieurs d'un estuaire ou d'une rivière.

Depuis longtemps, les mesures structurelles sont une caractéristique commune des côtes habitées partout au Canada (figure 14). On compte parmi les exemples de mesures structurelles sur le littoral, le réseau de digues sur la côte de la Colombie-Britannique, les ouvrages longitudinaux le long du bras nord-ouest du havre



FIGURE 14 : Mesures structurelles sur le littoral en Nouvelle-Écosse.
Photo gracieuseté de M. Davies.

d'Halifax, en Nouvelle-Écosse, et l'ouvrage longitudinal du parc Stanley à Vancouver, en Colombie-Britannique. L'emploi de mesures structurales pour accroître la superficie utilisable peut rendre les eaux sublittorales plus profondes et plus vulnérables à l'action des vagues. De plus, il peut perturber les zones d'érosion établies sur les côtes ainsi que les régimes des courants littoraux. Dans la plupart des cas, la mise en place de mesures structurelles exige que des experts professionnels étudient les options possibles, s'occupent d'obtenir les approbations réglementaires nécessaires et s'assurent que la conception et la construction des mesures se fasse de façon adéquate et compétente afin de prévenir des effets négatifs imprévus sur les milieux naturels et bâtis de la région (étude de cas 3).

ÉTUDE DE CAS 3

ROUTE EN REMBLAI DE COW BAY DANS LA MUNICIPALITÉ RÉGIONALE DE HALIFAX, EN NOUVELLE ÉCOSSE

(Davies et al., 2010b)

Au nord de Halifax, le long de la côte est, le chemin Cow Bay parcourt une route en remblai de 500 m construite au-dessus d'un cordon littoral constitué de galets. Protégé par un revêtement en pierre de carapace, la route en remblai a connu des problèmes d'entretien au cours des derniers dix ans. Les vagues de tempête submergent la route, emportant de grosses pierres et des débris (figure 15). De plus en plus souvent maintenant, le revêtement de surface de la route en asphalte est endommagé par des vagues. La croissance des niveaux relatifs de la mer a réduit la revanche de la route en remblai, donnant lieu ainsi à des dommages plus fréquents et plus graves, alors que l'intensification des tempêtes au large a fait en sorte que des vagues plus hautes atteignent le littoral dans cette zone.



FIGURE 15 : Conséquences du débordement causé par des vagues de tempête sur le chemin Cow Bay; municipalité régionale d'Halifax (Nouvelle-Écosse). Photo gracieuseté de R.B. Taylor.

Une analyse a été entreprise en vue d'évaluer la valeur relative de deux options : la construction d'une barrière en pierre de carapace plus efficace ou le rehaussement de la chaussée. Au moyen d'une approche d'établissement des coûts en fonction du cycle de vie (Davies et al., 2010a), un concept de route en remblai a été mis au point qui minimise les coûts total (les dépenses en immobilisations ainsi que les coûts d'entretien) au cours des 30 prochaines années. À plus long terme, il est probable que la route en remblai devra être abandonnée et que le chemin devra être dévié plus vers l'intérieur. Toutefois, il a été déterminé que la reconstruction de la barrière de protection afin de résister aux niveaux d'eau plus élevés et aux vagues plus hautes constituait l'approche la plus économique pour la période visée des 30 années à venir.

Les mesures non structurelles prises dans le cas d'érosion des rivages comprennent celles qui atténuent les effets dommageables des marées, des courants, des vagues et des tempêtes, tout en rehaussant la stabilité des sédiments sublittoraux. Des exemples de telles mesures comprennent le maintien ou le rétablissement de plages et de marais et la protection ou la remise en état de la végétation côtière. Quand les mesures non structurelles sont élaborées et mises en œuvre convenablement, elles soutiennent la poursuite des processus côtiers existants tels que l'alimentation en sable des plages et des dunes et la stabilisation des marais salés.

L'approvisionnement en sable des plages peut même devenir une composante des initiatives axées sur le recours aux mesures non structurelles du moment qu'il est conjugué à d'autres mesures de protection (figure 16). Les dépôts de sable terrestres ou au large peuvent être des sources d'alimentation en sable. La longévité et l'efficacité des mesures à cet égard sont directement liées aux processus géomorphologiques littoraux continus et à l'incidence des tempêtes.



FIGURE 16 : Mesures hybrides de protection à Basin Head, à l'Île-du-Prince-Édouard; revêtement enseveli recouvert de dunes et d'ammophile à ligule courte. Photo gracieuseté de M. Davies.

Dans les zones où des digues servaient par le passé à créer des terres agricoles qui ne sont plus exploitées, rompre les digues dans le but de permettre le rétablissement des marais salés d'origine constitue une mesure non structurelle qui peut accroître la capacité du rivage local à résister à l'érosion (Bowron *et al.*, 2012; van Proosdij *et al.*, 2014). L'établissement de marais salés du côté de la mer des digues et d'autres projets de mesures structurelles (structures rigides de protection) peuvent également contribuer à la réduction de l'énergie des vagues. Les experts techniques (p. ex. Lamont *et al.*, 2014) font la promotion de l'efficacité de telles approches, mais les mesures semblent largement invisibles et peu comprises par le grand public. En Colombie-Britannique, le Green Shores Program (programme des rivages verts; Lamont *et al.*, 2014) encourage le recours à des politiques et des pratiques axées sur la prise de mesures non structurelles (souples) comme moyen de protection contre l'élévation du niveau de la mer et les inondations. Sur la Côte-Nord du Québec, les perceptions des collectivités locales quant aux avantages des mesures structurelles ont eu une incidence sur la prise de décisions : la proposition d'une mesure non structurelle sous forme de recharge des plages n'était acceptable pour les résidents qu'à la condition que cette mesure soit accompagnée par la construction d'un ouvrage longitudinal (Bernatchez *et al.*, 2008).

Les mesures structurelles (telles que des ouvrages longitudinaux et des digues) peuvent créer un sentiment accru, et parfois faux, de protection contre l'inondation côtière. Par le passé, alors que les régimes météorologiques étaient établis depuis des décennies, les mesures structurelles bien conçues et bien construites pouvaient assurer un degré élevé de sécurité et de protection contre les vagues et les ondes de tempête. À mesure que les changements climatiques s'intensifient et que le niveau de la mer s'élève, la protection qu'offrent les mesures structurelles est moins sûre, et même de moins en moins fiable à mesure que le temps passe. De plus, il arrive parfois que certaines mesures structurelles aggravent le risque d'inondation, notamment si les structures cèdent lorsque le niveau d'eau s'élève et que les eaux de crue se trouvent piégées derrière elles (Mercier et Chadenas, 2012).

3.6.4 ÉVITEMENT ET RETRAIT

Comme intervention, l'évitement et le retrait sont appropriés lorsque l'on peut établir que les risques pour l'infrastructure ou pour la santé et la sécurité humaines sont inacceptables ou que les mesures de protection ou d'atténuation ne sont pas considérées comme pratiques. L'évitement consiste en l'interdiction de nouveaux projets d'aménagement dans une zone, surtout les zones exposées ou les terres basses où la construction est normalement évitée. Par retrait, on entend les situations où les biens existants sont abandonnés ou bien retirés des zones menacées (à court ou à plus long terme) et où les activités ou l'exploitation par les humains sont limitées. Par la gestion du retrait (Titus, 1998; Tomlinson et Helman, 2006; Turner *et al.*, 2007; Forsythe, 2009), on cherche à se protéger des risques côtiers découlant de changements climatiques par l'abandon planifié ou la relocalisation progressive.

Comme type d'intervention, le retrait peut entraîner des coûts économiques et culturels considérables pour la société et les personnes. Le long du littoral, les bâtiments et les biens constituent souvent les caractéristiques les plus anciennes d'une communauté,

ou ont une valeur commerciale considérable. Que ce soit un bien de valeur historique, culturelle ou environnementale ou des maisons individuelles, leur abandon peut traumatiser l'ensemble de la communauté. Par conséquent, le retrait est généralement l'une des dernières interventions considérées dans la planification de l'adaptation. Étant donné que le retrait est une intervention mal accueillie lorsqu'il s'agit de composer avec les risques côtiers, il arrive souvent que l'intervention soit reportée jusqu'à ce que le danger se matérialise (Mcintosh, 2013; Muir *et al.*, 2013). Les dommages qui s'ensuivent peuvent inciter les décideurs à prendre des mesures immédiates et possiblement coûteuses, sans avoir obtenu les conseils scientifiques et professionnels appropriés, entraînant ainsi le recours à des solutions inefficaces (Cooper et Pile, 2014).

La gestion du retrait est un type d'intervention adopté dans un certain nombre de collectivités canadiennes dont les efforts de planification de l'adaptation sont fondés sur l'évitement des effets associés à l'élévation du niveau de la mer et à des conditions météorologiques violentes. Les plans élaborés pour les zones portuaires et de front de mer de la Ville de Gibsons, en Colombie-Britannique (Ville de Gibsons, 2012) et de Charlottetown, à l'Île-du-Prince-Édouard (Ekistics Planning and Design, 2012) ont intégrés des dispositions concernant de nouveaux projets d'aménagement qui tiennent compte des prévisions quant à l'élévation du niveau de la mer et à la fréquence accrue des ondes de tempête. Selon une ligne directrice sur l'aménagement côtier à Halifax, en Nouvelle-Écosse, il faut éviter la construction de nouvelles structures dans les basses terres où il y a le potentiel d'inondation en raison de l'élévation de la mer et des conditions météorologiques violentes (Halifax Regional Municipality, 2007).

3.7 ÉTAT DE PRÉPARATION EN CAS D'URGENCE

L'amélioration de l'état de préparation en cas d'urgence est un autre élément de la préparation aux changements climatiques. À mesure que les phénomènes météorologiques extrêmes deviennent plus fréquents et plus intenses en raison des changements climatiques, le besoin d'apporter des modifications aux procédures afin de mieux se préparer en cas d'urgence devient plus important. « Se préparer en cas d'urgence » comprend toute activité entreprise avant une catastrophe en vue de renforcer la capacité d'une collectivité à intervenir en cas d'urgence et à faire face à des conditions de tempête (ONU/SIPC et ONU/BCAH, 2008). Au Canada, les organismes de mesures d'urgence fédéraux, provinciaux et locaux coordonnent avec les services de police et d'incendie, les premiers intervenants médicaux et d'autres organismes (p. ex. Croix-Rouge canadienne) afin de coordonner leurs activités et partager leurs ressources.

Au sein des collectivités, les organismes de mesures d'urgence ont des rôles importants à jouer dans la planification de l'adaptation. À mesure que les conditions environnementales évoluent, il se peut que le réexamen des protocoles d'intervention d'urgence, des routes d'évacuation et de l'entreposage des provisions de secours s'impose afin de s'assurer qu'ils sont toujours adéquats. À mesure que les prévisions de phénomènes météorologiques violents s'améliorent, les collectivités peuvent réduire le danger de risque

par une amélioration de l'état de préparation à l'intervention d'urgence, l'évacuation anticipée des populations à risque et la prise de mesures temporaires de protection des bâtiments, des propriétés et des ressources naturelles (étude de cas 4).

ÉTUDE DE CAS 4

LITTLE ANSE SUR L'ÎLE MADAME AU CAP BRETON (NOUVELLE-ÉCOSSE)

(Chung, 2014a)

Little Anse est un petit village côtier qui compte environ 125 habitants. Il est situé sur la côte est de l'île Petit-de-Grat, faisant partie de l'archipel de l'île Madame au Cap Breton, en Nouvelle-Écosse (figure 17). Depuis quelques années, les activités de pêche, auparavant concentrées dans le village, ont migré vers le havre plus grand de Petit-de-Grat. La route qui relie le village à la collectivité plus grande est sujette à des inondations lors de tempêtes, ce qui a pour effet d'isoler les résidents dont bon nombre sont des personnes âgées. Auparavant, la digue à la mer à Little Anse protégeait l'anse et la route traversant les basses terres des effets des tempêtes. Cependant, la digue à la mer a été endommagée et se trouve en état de délabrement.



FIGURE 17 : Photo aérienne de Little Anse, en Nouvelle-Écosse (extrait modifié tiré de Digital Globe et Google, 2016).

La réparation ou le remplacement de la digue à la mer endommagée (dont les coûts pourraient atteindre de 1 à 5 millions de dollars) ou la construction d'une route alternative sont des interventions coûteuses qui créeraient un fardeau financier considérable et possiblement inabordables pour la municipalité et la province (Camare, 2011). Afin d'atténuer les dangers pour la santé et la sécurité humaines qu'entraînent l'inondation de l'accès routier, les responsables du projet C-Change (gestion d'adaptation aux changements environnementaux dans les collectivités côtières : Canada et les Caraïbes) dirigé par l'Alliance internationale de recherche universitéscommunautés (ARUCI) travaillent avec

les premiers intervenants, les dirigeants communautaires et la Croix-Rouge canadienne afin de déterminer et de localiser les personnes au plus grand risque, de s'assurer que l'état de préparation en cas d'urgence et les procédures d'intervention sont adéquats, et de mettre en place d'autres mesures susceptibles d'assurer la sécurité et le bien-être des résidents pendant des tempêtes (Lane et al., 2013; Chung, 2014a, b).

Des efforts de planification sont en cours dans le but de déterminer les options à court terme relatives à l'évacuation de ceux qui sont le plus à risque. Dans l'éventualité où les prévisions météorologiques annonceraient la possibilité d'une onde de tempête qui risque d'inonder la route, les résidents seraient transportés à titre volontaire en lieu sûr (un centre communautaire) où ils s'abriteraient en sécurité le temps de la tempête. La planification d'une telle activité d'atténuation engagera les travailleurs de la santé publique, les services d'urgence, les pharmaciens locaux, les groupes de services et les groupes confessionnels afin qu'ils soient en mesure de fournir de l'aide et des repas aux résidents déplacés et rassurer ces derniers le temps de leur séjour.

4 RÉFLEXIONS EN CONCLUSION

Rockström et Klum (2015) ont affirmé que l'humanité est aux prises avec quatre pressions principales : la croissance de la population et l'affluence, la dégradation des écosystèmes, les changements climatiques et la surprise. La surprise est le produit de changements catastrophiques ou rampants qui se manifestent lorsque des seuils sont franchis et qu'un grand éventail de répercussions se fait sentir dans toutes les sociétés et tous les milieux. Ils ont également souligné la très grande capacité de la société, grâce à la créativité et l'innovation, à s'adapter à ces changements et à prospérer dans un monde en évolution rapide. Alors que ce chapitre a présenté un aperçu de haut niveau des défis que posent les changements climatiques pour les régions côtières du Canada et des approches qui permettent de s'y adapter, les chapitres suivants sur des régions en particulier présenteront des discussions plus détaillées de l'innovation à l'œuvre à l'échelle du pays.

5 RÉFÉRENCES

- ABL Environmental Consultants Limited (2011) : Vulnerability of Sandy Point STP upgrade to climate change; Municipality of the District of Shelburne – From Ocean to Forest, 57 p., http://www.pievc.ca/sites/default/files/shelburne_sewage_treatment_plant_report.pdf.
- Adger, W.N. (2000) : Social and ecological resilience: are they related?; Progress in Human Geography, vol. 24, p. 347–364.
- Aerts, J. et Botzen, W. (2013) : Climate adaptation cost for flood risk management in the Netherlands; dans *Storm Surge Barriers to Protect New York City Against the Deluge*, D. Hill, M.J. Bowman et J.S. Khinda (éd.); Actes de conférence, Brooklyn, New York, 30–31 mars, 2009, p. 99–113. doi:10.1061/9780784412527.007
- Agence européenne pour l'environnement (2006a) : The changing face of Europe's coastal areas; Agence européenne pour l'environnement, Union européenne, Copenhague, Danemark, AEE Rapport n° 6/2006, 112 p., http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_6.
- Agence européenne pour l'environnement (2006b) : The continuous degradation of Europe's coasts threatens European living standards; Agence européenne pour l'environnement, Union européenne, Copenhague, Danemark, 4 p., http://www.eea.europa.eu/publications/briefing_2006_3.

- Aid Environment (2004) : Integrated marine and coastal area management (IMCAM) approaches for implementing the convention on biological diversity; Secretariat of the Convention on Biological Diversity, CBD Technical Series, n° 14, 51 p., <<https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-14.pdf>>.
- Andrey, J., Kertland, P. et Warren, F.J. (2014) : Infrastructure hydraulique et infrastructure de transport; 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. 233–252, <http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earths ciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre8-Infrastructures_Fra.pdf>.
- Anthoff, D., Nicholls, R.J. et Tol, R.S.J. (2010) : The economic impact of substantial sea-level rise; *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 15, n° 4, p. 321–355. doi:10.1007/s11027-010-9220-7
- Anthony, E.J. et Sabatier, F. (2013) : Chapter 12: France; dans 2013: *Coastal Erosion and Protection in Europe*, E. Pranzini et A. Williams (éd.); Routledge, New York, New York, p. 227–253.
- ArcticNet (2013) : Rapport annuel 2011–2013; Université Laval, Québec, Québec, 47 p., <http://www.arcticnet.ulaval.ca/pdf/media/2013_annual_report_fr.pdf>.
- Arlington Group Planning + Architecture Inc., Tetra Tech EBA, De Jardine Consulting et Sustainability Solutions Group (2013) : Sea level rise adaptation primer: a toolkit to build adaptive capacity on Canada's south coasts; BC Ministry of Environment, 149 p., <<http://www2.gov.bc.ca/gov/DownloadAsset?assetId=41DCF41B26B449D8F54FAA0A8C751A9&filename=slr-primer.pdf>>.
- Association de l'industrie touristique du Canada (2012) : The Canadian tourism industry: a special report; HLT Advisory Inc., Association de l'industrie touristique du Canada (AITC) et VISA Canada, 39 p., <http://tiac.travel/_Library/documents/The_Canadian_Tourism_Industry_-_A_Special_Report_Web_Optimized_.pdf>.
- Association des administrations portuaires canadiennes (2007) : Port industry facts; Association des administrations portuaires, Relations publiques, <<http://www.acpa-ports.net/pr/facts.html>>.
- 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, Document hors-série 9, 18 p., <http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/ec/En57-41-9-2007-eng.pdf>.
- Ausenco Sandwell (2011a) : Climate change adaptation guidelines for sea dikes and coastal flood hazard land use: draft policy discussion paper; BC Ministry of Environment, 45 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/draft_policy_rev.pdf>.
- Ausenco Sandwell (2011b) : Climate change adaptation guidelines for sea dikes and coastal flood hazard land use: guidelines for management of coastal flood hazard land use; BC Ministry of Environment, 22 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/coastal_flooded_land_guidelines.pdf>.
- Ausenco Sandwell (2011c) : Climate change adaptation guidelines for sea dikes and coastal flood hazard land use: sea dikes guidelines; BC Ministry of Environment, 59 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/sea_dike_guidelines.pdf>.
- Austen, E. et Hanson, A. (2007) : An analysis of wetland policy in Atlantic Canada; *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 32, n° 3, p. 163–178.
- Ballinger, R.C., Potts, J.S., Bradly, N.J. et Pettit, S.J. (2000) : A comparison between coastal hazard planning in New Zealand and the evolving approach in England and Wales; *Ocean and Coastal Management*, vol. 43, n° 10–11, p. 905–925.
- 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. doi:10.1002/aqc.816
- Banque mondiale (2008) : The Caribbean catastrophe risk insurance facility: providing immediate funding after natural disasters; Banque mondiale: Amérique latine et Caraïbes, Operational Innovations in Latin America and The Caribbean, vol. 2, n° 1, 15 p., <http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2008/07/14/000334955_20080714060343/Rendered/PDF/446950NWP0ONS41Box0327407B01PUBLIC1.pdf>.
- Barange, M. et Perry, R.I. (2009) : Physical and ecological impacts of climate change relevant to marine and inland capture fisheries and aquaculture; dans *Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge*, K. Cochrane, C. De Young, D. Soto et T. Bahri (éd.); Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Pêches et aquaculture, Document technique 530, p. 7–106. <<http://www.fao.org/docrep/012/i0994e/i0994e00.htm>>.
- BC Ministry of Environment (2013) : Sea level rise and storm surges on the BC coast; Government of British Columbia, Climate Change, Policy, Legislation and Programs, <<http://www2.gov.bc.ca/gov/topic.page?id=F09F1EC7576643CEB5FB1536913730BA>>.
- BC Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations (2014) : Simulating the effects of sea level rise and climate change on Fraser River Flood scenarios: final report; BC Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, Flood Safety Section, Victoria, Colombie-Britannique, 202 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/Simulating_Effects_of_Sea_Level_Rise_and_Climate_Change_on_Fraser_Flood_Scenarios_Final_Report_May2014.pdf>.
- Bernatchez, P. et Fraser, C. (2012) : Evolution of coastal defense structures and consequences for beach width trends, Quebec, Canada; *Journal of Coastal Research*, vol. 28, n° 6, p. 1550–1566.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Drejza, S. et Morissette, A. (2008) : Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques; rapport rédigé par le 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 le changement climatique (FACC), 256 p., <http://www.ouranos.ca/media/publication/145_Bernatchezetal2008.pdf>.
- Berteaux, D., DeBlois, S., Angers, J.-F., Bonin, J., Casajus, N., Darveau, M., Fournier, F., Humphries, M.M., McGill, B., Larivée, J., Logan, T., Nantel, P., Périé, C., Poisson, F., Rodrigue, D., Rouleau, S., Siron, R., Thuiller, W. et Vescovi, L. (2010) : The CC-Bio Project: studying the effects of climate change on Quebec biodiversity; *Diversity*, vol. 2, p. 1181–1204.
- Beshiri, R. (2005) : Une promenade à la campagne: le tourisme dans les régions rurales au Canada; *Bulletin d'analyse: régions rurales et petites villes du Canada*, vol. 6, n° 5, 25 p., <<http://www.statcan.gc.ca/pub/21-006-x/21-006-x2005005-fra.pdf>>.
- Bijlsma, L., Ehler, C., Klein, R., Kulshrestha, S., McLean, R., Mimura, N., Nicholls, R., Nurse, L., Nieto, H.P. et Stakhiv, E. (1996) : Coastal zones and small islands; dans *Changement Climatique 1995: Analyse scientifique et technique des incidences de l'évolution du climat, mesures d'adaptation et d'atténuation*; contribution du Groupe de travail II au Deuxième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), R.T. Watson, M.C. Zinyowera et R.H. Moss (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 289–324, <https://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_II/ipcc_sar_wg_II_full_report.pdf>.
- Boateng, I. (2008) : Integrating sea-level rise adaptation into planning policies in the coastal zone; *Coastal Zone Administration, Integrating Generations, FIG Working Week 2008*, Stockholm, Suède, 22 p., <http://research.fit.edu/sealevelislibrary/documents/doc_mgr/422/UK_SLR_Adaptation_&_Planning_-Boateng_2008.pdf>.
- Bornhold, B.D. (2008) : Projected sea level changes for British Columbia in the 21st century; Gouvernement de la Colombie-Britannique et Gouvernement du Canada, 9 p., <http://www.llbc.leg.bc.ca/public/pubdocs/bcdocs/452793/sea_level_changes_08.pdf>.
- Bowron, B. et Davidson, G. (2012) : Climate change planning: case studies from Canadian communities; rapport rédigé à l'intention de l'Institut canadien des urbanistes, 65 p., <<https://www.cip-icu.ca/files/resources/case-studies-from-canadian-communities-final>>.
- Bowron, T., Neatt, N., van Proosdij, D. et Lundholm, J. (2012) : Salt marsh restoration in Atlantic Canada in restoring tidal flow to salt marshes; 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, <<http://islandpress.org/book/tidal-marsh-restoration>>.
- Boyle, J., Cunningham, M. et Dekens, J. (2013) : Climate change adaptation and Canadian infrastructure: a review of the literature; International Institute for Sustainable Development (IISD), Winnipeg, Manitoba, 35 p., <http://www.iisd.org/pdf/2013/adaptation_can_infrastructure.pdf>.
- Brown, S., Nicholls, R., Vafeidis, A., Hinkel, J. et Watkiss, P. (2011) : Sea-level rise: the impacts and economic costs of sea-level rise on coastal zones in the EU and the costs and benefits of adaptation; ClimateCost Project, Technical Policy Briefing Note 2, 43 p., <<http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/sei-climatecost-sea-level-rise.pdf>>.
- Burby, R.J., Beatley, T., Berke, P.R., Deyle, R.E., French, S.P., Godschalk, D.R., Kaiser, E.J., Karte, J.D., May, P.J., Olshansky, R., Paterson, R.G. et Platt, R.H. (1999) : Unleashing the power of planning to create disaster-resistant communities; *Journal of the American Planning Association*, vol. 65, n° 3, p. 247–258. doi:10.1080/01944369908976055
- Burby, R.J., Deyle, R.E., Godschalk, D.R. et Olshansky, R.B. (2000) : Creating hazard resilient communities through land-use planning; *Natural Hazards Review*, vol. 1, n° 2, p. 99–106. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2000)1:2(99)

- Burton, I. (2008) : Progrès sur la voie de l'adaptation, 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. 425–440, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch10_f.pdf>.
- Camare, H.M. (2011) : Multi-criteria decision evaluation of adaptation strategies for vulnerable coastal communities; thèse de maîtrise, Université d'Ottawa, 331 p., <https://www.ruor.uottawa.ca/bitstream/10393/20112/1/Mostofi_Camare_Hooman_2011_thesis.pdf>.
- Campbell, I.D., Durant D.G., Hunter, K.L. et Hyatt, K.D. (2014) : Production alimentaire, 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. 99–134, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre4-Production-alimentaire_Fra.pdf>.
- Canmac Economics, School for Resource and Environmental Studies, Enterprise Management Consultants et le Secrétariat du Atlantic Coastal Zone Information Steering Committee (2002) : The value of the ocean sector to the economy of Prince Edward Island; rapport rédigé à l'intention du Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard et du Gouvernement du Canada, Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard, 101 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/266991e.pdf>>.
- Catto, N. (2008) : Water resources public infrastructure vulnerability assessment for Placentia, Newfoundland; rapport rédigé par Cameron Consulting Incorporated à l'intention du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP), 161 p., <http://www.pievc.ca/sites/default/files/town_of_placentia_newfoundland_final_report.pdf>.
- CBCL Limited (2009) : Rapport récapitulatif de 2009 sur l'état des côtes de la Nouvelle-Écosse; Gouvernement de la Nouvelle-Écosse, 22 p., <http://www.novascotia.ca/coast/documents/state-of-the-coast/WEB_Summary_FR.pdf>.
- CBCL Limited (2012) : Assessment of infrastructure relevant to the fishing and aquaculture industries; Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), 137 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca.acasa/files/Fisheries%20and%20Aquaculture%20Infrastructure_0.pdf>.
- CBC News (2003) : Hurricane Juan a wakeup call: experts; CBC/Radio-Canada, <<http://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/hurricane-juan-a-wakeup-call-experts-1.359547>>.
- CBC News (2015) : Ice-bound P.E.I.–Îles-de-la-Madeleine ferry now heading to N.S.; CBC/Radio-Canada, <<http://www.cbc.ca/news/canada/prince-edward-island/ice-bound-p-e-i-%C3%A0-les-de-la-madeleine-ferry-now-heading-ton-s-1.2974986>>.
- 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. XXXI, n° 3, p. 507–520.
- Chung, A.Q.H. (2014a) : Emergency preparedness and response planning: a value-based approach to preparing coastal communities for sea level rise; thèse de maîtrise, Université d'Ottawa, 212 p., <https://www.ruor.uottawa.ca/bitstream/10393/31446/3/Chung_Alexander_Quoc_Huy_2014_thesis.pdf>.
- Chung, A.Q.H. (2014b) : Operation Breakwater: table-top exercise for the Municipality of the County of Richmond Emergency Operations Centre: the case of Little Anse breakwater failure – after action report; Municipalité du comté de Richmond, Arichat, Nouvelle-Écosse, 46 p.
- Commission de coopération environnementale (2012) : Guide à l'intention des planificateurs et des gestionnaires pour la création de réseaux d'aires marines protégées résilientes dans le contexte des changements climatiques; Commission de coopération environnementale, Montréal, Québec, 32 p., <<http://www3.cec.org/islandora/en/item/10856-guide-planners-and-managers-design-resilient-marine-protected-area-networks-in-fr.pdf>>.
- Commission océanographique intergouvernementale (2009) : Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management (ICAM); Commission océanographique intergouvernementale, UNESCO, Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier n° 5, 143 p., <<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001832/183253e.pdf>>.
- Conseil économique des provinces de l'Atlantique (2004) : An agenda for growth and prosperity in Atlantic Canada; Conseil économique des provinces de l'Atlantique (CÉPA), Halifax, Nouvelle-Écosse, 24 p.
- Cooper, J. et J. Pile (2014) : The adaptation-resistance spectrum: a classification of contemporary adaptation approaches to climate-related coastal change; *Ocean and Coastal Management*, vol. 94, p. 90–98.
- Costanza, R. et Mageau, M. (1999) : What is a healthy ecosystem?; *Aquatic Ecology*, vol. 33, n° 1, p. 105–115. doi:10.1023/A:1009930313242
- Costanza, R., Kubiszewski, I., de Groot, R., van der Ploeg, S., Sutton, P., Anderson, S.J., Farber, S. et Turner, R.K. (2014) : Changes in the global value of ecosystem services; *Global Environmental Change*, vol. 26, p. 152–158.
- Costello, A., Abbas, M., Allen, A., Ball, S., Bell, S., Bellamy, R., Friel, S., Groce, N., Johnson, A., Kett, M., Lee, M., Levy, C., Maslin, M., McCoy, D., McGuire, B., Montgomery, H., Napier, D., Pagel, C., Patel, J., Puppim de Oliveira, J.A., Redclift, N., Rees, H., Rogger, D., Scott, J., Stephenson, J., Twigg, J., Wolff, J. et Patterson, C. (2009) : Managing the health effects of climate change; *The Lancet*, vol. 373, n° 9676, p. 1693–1733. doi:10.1016/S0140-6736(09)60935-1
- County of Richmond (2013) : Municipal climate change action plan; rapport rédigé par le Centre de recherche marine, Université Sainte-Anne, à l'intention de la Municipalité du comté de Richmond, Arichat, Nouvelle-Écosse, 80 p.
- CVIIP [Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques] (2012) : PIEVC case studies: codes, standards and related instruments (CSRI) review for water infrastructure and climate change; Ingénieurs Canada, 22 p.
- CVIIP [Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques] (2014) : Bienvenue au site Web du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques; Accueil, <<http://www.pievc.ca/fr>>.
- Davies, M., MacDonald, N. et Boyd, G. (2010a) : Development of a life-cycle costing approach for roads exposed to storms and sea level rise; Association des transports du Canada, Congrès annuel, 19 p.
- Davies, M., MacDonald, N. et Wiebe, D. (2010b) : Cow Bay causeway restoration study: technical report; rapport rédigé par la Coldwater Consulting Ltd à l'intention de la Municipalité régionale d'Halifax, 82 p.
- de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. et Willemen, L. (2010) : Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making; *Ecological Complexity*, vol. 7, n° 3, p. 260–272. doi:10.1016/j.ecocom.2009.10.006
- Delcan (2012) : Cost of adaptation – sea dikes and alternative strategies – final report; BC Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, 23 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/cost_of_adaptation-final_report_oct2012.pdf>.
- Doiron, S. (2012) : From climate change plans to by-laws: it's time to act; Plan Canada, Institut canadien des urbanistes, 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. 1317–1324.
- Dolan, A.H., Taylor, M., Neis, B., Ommert, R., Eyles, J., Schneider, D. et Montevicchi, B. (2005) : Restructuring and health in Canadian coastal communities; *EcoHealth*, vol. 2, n° 3, p. 195–208. doi:10.1007/s10393-005-6333-7
- Ekistics Planning and Design (2012) : City of Charlottetown: comprehensive waterfront management plan – final report; Ville de Charlottetown, 94 p., <http://city.charlottetown.pe.ca/pdfs/Charlottetown-Waterfront-Final-2012_12_19.pdf>.
- Environnement Canada (2014) : Le puissant Igor; Environnement Canada, Les dix événements météorologiques les plus marquants au Canada en 2010, <<http://ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=BDE98E0F-1>>.
- Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (2005a) : Les écosystèmes et le bien-être humain: synthèse, *Évaluation des écosystèmes pour le millénaire*, Island Press, Washington, District de Columbia, 137 p., <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>.
- Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (2005b) : Vivre au-dessus de nos moyens : actifs naturels et bien-être humain – Déclaration du Conseil d'administration; *Évaluation des écosystèmes pour le millénaire*, Island Press, Washington, District de Columbia, 24 p., <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.429.aspx.pdf>>.
- Eyzaguirre, J. et Warren, F.J. (2014) : Adaptation: établir un lien entre la recherche et la pratique; 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.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre9-Adaptation_Fra.pdf>.
- Félio, G. (2012) : Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes: routes municipales et systèmes d'eau; Association canadienne de la construction, Association canadienne des travaux publics, Société canadienne de génie civil et Fédération canadienne des municipalités, <<http://www.canadainfrastructure.ca/fr/rapport.html>>.

- Feltmate, B. et J. Thistleton (2012) : Climate change adaptation: a priorities plan for Canada; Climate Change Adaptation Project (Canada), Waterloo, Ontario, 122 p., <<https://uwaterloo.ca/environment/sites/ca.environment/files/uploads/files/CCAP-Report-30May-Final.pdf>>.
- Field, J.C., Boesch, D.F., Scavia, D., Buddemeier, R., Burkett, V.R., Cayan, D., Fogarty, M., Harwell, M., Howarth, R. et Mason, C. (2001) : The potential consequences of climate variability and change on coastal areas and marine resources; dans *Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*; United States Global Change Research Program, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 461-487.
- Forbes, D.L., éditeur (2011) : State of the Arctic coast 2010: scientific review and outlook; International Arctic Science Committee, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique, et Association internationale du pergélisol; Helmholtz-Zentrum, Geesthacht, Allemagne, 168 p., <http://library.arcticportal.org/1277/1/state_of_the_arctic_coast_2010.pdf>.
- Forbes, D.L., Manson, G.K., Charles, J., Thompson, K. et Taylor, R.B. (2009) : Halifax harbour extreme water levels in the context of climate change: scenarios for a 100-year planning horizon; Commission géologique du Canada, Dossier public 6346, 22 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/248/248196/of_6346.pdf>.
- Forsythe, P.J. (2009) : Planning on a retreating coastline: Oamaru, North Otago, New Zealand; Institute of Geological and Nuclear Sciences Limited, Dunedin, Nouvelle-Zélande, GNS Science Report 2009/25, 53 p., <https://www.massey.ac.nz/massey/fms/Colleges/College%20of%20Humanities%20and%20Social%20Sciences/Psychology/Disasters/pubs/GNS/2009/SR_2009_25_Planning_for_retreating_coastline-Oamaru.pdf?E4F35A0E9E4030C92B105B82EAB3BC34>.
- Furgal, C. et Prowse, T.D. (2008) : Nord du Canada; dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix, et E. Bush (éd.); Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 57-118, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch3_f.pdf>.
- Füssel, H.M. (2007) : Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons; *Sustainability Science*, vol. 2, n° 2, p. 265-275. doi:10.1007/s11625-007-0032-y
- Gardner, M., Fraser, R., Milloy, M. et Frost, J. (2005) : Valeur économique du secteur de l'océan en Nouvelle-Écosse; rapport rédigé par Gardner Pinfold Consulting Economists Ltd et MariNova Consulting Ltd. à l'intention du Gouvernement du Canada, du Gouvernement de la Nouvelle-Écosse et du Nova Scotia Fisheries Sector Council, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, 69 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/316109.pdf>>.
- Gardner, M., MacAskill, G. et DeBow, C. (2009) : Economic impact of the Nova Scotia ocean sector 2002-2006; rapport rédigé par Gardner Pinfold Consulting Economists Ltd à l'intention du Gouvernement du Canada, du Gouvernement de la Nouvelle-Écosse et du Nova Scotia Fisheries Sector Council, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, 27 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)>.
- Gardner Pinfold Consulting Economists Ltd (2009a) : Impact économique des activités maritimes au Canada; Pêches et Océans Canada, Direction générale de l'Analyse économique et statistiques, Série analyses statistiques et économiques, n° 1-1, 94 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/ea-ae/cat1/no1-1/no1-1-fra.pdf>>.
- Gardner Pinfold Consulting Economists Ltd (2009b) : Impact économique des activités maritimes dans les vastes zones de gestion des océans; Pêches et Océans Canada, Direction générale de l'Analyse économique et statistiques, Série analyses statistiques et économiques, n° 1-2, 110 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/ea-ae/cat1/no1-2/no1-2-fra.pdf>>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2007) : Changements climatiques 2007: conséquences, adaptation et vulnérabilité; contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M. Parry, O. Canziani, J. Palutikoff, P. van der Linden et C. Hanson (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 976 p., <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013) : Glossaire; dans *Changements climatiques 2013: les éléments scientifiques*; 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, p. 1447-1465, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_AnnexIII_FINAL.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014) : Résumé à l'intention des décideurs; dans *Changements climatiques 2014: conséquences, adaptation et vulnérabilité*; 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. 1-32, <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf>.
- Digital Globe and Google (2015) : Google Maps™, image satellite de Little Anse, Nouvelle-Écosse; Google, image, URL <<http://maps.google.ca/maps>> [©2015 Google - Imagery, ©2015 TerraMetrics, Map data, [mai 2015].
- Gouvernement du Canada (2012a) : Survol de l'industrie: secteur touristique; Gouvernement du Canada, Appuyer le tourisme, <http://www.tourism.gc.ca/eic/site/034.nsf/fra/_00003.html>.
- Gouvernement du Canada (2012b) : Stratégie fédérale en matière de tourisme du Canada: accueillir le monde; Gouvernement du Canada, Appuyer le tourisme, <<http://www.ic.gc.ca/eic/site/034.nsf/eng/00216.html>>.
- Gouvernement fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada (2010) : Biodiversité canadienne: état et tendances des écosystèmes en 2010; Conseils canadiens des ministres des ressources, Ottawa, Ontario, vol. i, 142 p., <http://www.biodivcanada.ca/a519f000-8427-4f8c-9521-8a95ae287753/fr_biodiversit%C3%A9canadienne_complet.pdf>.
- Government of Western Australia (2012) : State coastal planning policy guidelines: draft state planning policy 2.6; prepared under Part Three of the Planning and Development Act 2005, Western Australian Planning Commission, Perth, Australie, 28 p.
- Granniss, J. (2011) : Adaptation tool kit: sea-level rise and coastal land use – how governments can use land-use practices to adapt to sea-level rise; Georgetown Climate Centre, Washington, District de Columbia, 90 p., <http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc_mngr/456/SLR_Adaptation_Tool_Kit_Granniss_2011.pdf>.
- GSGislason & Associates Ltd. (2007) : Economic contributions of the oceans sector in British Columbia; rapport rédigé à l'intention du Comité de coordination des océans Canada-Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique, 77 p., <<http://www.env.gov.bc.ca/omfd/reports/oceansector-economics.pdf>>.
- Halifax Regional Municipality (2007) : ClimateSMART – climate change: developer's risk management guide; Municipalité régionale d'Halifax, Halifax, Nouvelle-Écosse, 26 p., <http://ccap.org/docs/resources/394/Developers_GuidetoRiskManagement.pdf>.
- Hansen, J.C., Deutch, B. et Odland, J.Ø. (2008) : Dietary transition and contaminants in the Arctic: emphasis on Greenland; *Circumpolar Health Supplements* 2008, vol. 2, 96 p., <http://www.circumpolarhealthjournal.net/public/journals/32/chs_CHS_2008_2.pdf>.
- Haskell, B.D., Norton, B.G. et Costanza, R. (1992) : What is ecosystem health and why should we worry about it?; dans *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*, R. Costanza, B.G. Norton et B.D. Haskell (éd.); Island Press, Washington, District de Columbia, p. 239-256.
- Heap, N. (2007) : Hot properties: how global warming could transform B.C.'s real estate sector; Fondation David Suzuki, Vancouver, Colombie-Britannique, 32 p., <http://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/2007/DSF_HotProperties_final1.pdf>.
- Hildebrand, L.P. (1989) : Canada's Experience With Coastal Zone Management; Oceans Institute of Canada, Halifax, Nouvelle-Écosse, 118 p.
- Hildebrand, L.P. (1995) : Canadian coastal and ocean management: the emergence of a new era; *Ocean Policy Research*, vol. 10, p. 37-72.
- Hildebrand, L.P. et Norrena, E.J. (1992) : Approaches and progress toward effective integrated coastal zone management; *Marine Pollution Bulletin*, vol. 25, n° 1-4, p. 94-97. doi:10.1016/0025-326X(92)90194-B
- Hinkel, J., Lincke, D., Vafeidis, A.T., Perrette, M., Nicholls, R.J., Tol, R.S.J., Marzeion, B., Fettweis, X., Ionescu, C. et Levermann, A. (2014) : Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise; *Actes de la National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111, n° 9, p. 3292-3297.
- H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment (2000) : The hidden costs of coastal hazards: implications for risk assessment and mitigation (2e édition); H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, Island Press, Washington, District de Columbia, 252 p.
- Hounsell, S. (2012) : Biodiversity; dans *Climate Change Adaptation: A Priorities Plan for Canada*, B. Feltmate et J. Thistleton (éd.); Intact Foundation et Université de Waterloo, rapport du Climate Change Adaptation Project (Canada), p. 37-48.

- Hunter, J. (2010) : Estimating sea-level extremes under conditions of uncertain sea-level rise; *Climatic Change*, vol. 99, p. 331–350.
- Hunter, J., Church, J.A., White, N.J. et Zhang, X. (2013) : Towards a global regionally varying allowance for sea-level rise; *Ocean Engineering*, vol. 71, p. 17–27.
- 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) : Le maintien de la biodiversité marine au Canada: relever les défis posés par les changements climatiques, les pêches et l'acquaculture; Société royale du Canada: Académies des arts, des lettres et des sciences du Canada, Ottawa, Ontario, 315 p., <<https://www.rsc-src.ca/fr/groupes-dexperts/src-rapports/le-maintien-de-la-biodiversite-canada>>.
- Infrastructure Canada (2011) : Bâtir pour la prospérité: les infrastructures publiques au Canada; Infrastructure Canada, 30 p., <<http://www.infrastructure.gc.ca/alt-format/pdf/Plan-Booklet-Livret-fra.pdf>>.
- 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; Commission géologique du Canada, 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) : Relative sea-level projections in Canada and the adjacent mainland United States; Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Dossier public 7737, 72 p. doi:10.4095/2955/84
- Jones, B. et Scott, D. (2006) : Climate change, seasonality and visitation to Canada's National Parks; *Journal of Parks and Recreation Administration*, vol. 24, n° 2, p. 42–62.
- Keeling, A. (2012) : Adaptation, industrial development and Arctic communities; ArcticNet Compendium de recherche annuel (2011–2012), 8 p., <http://www.arcticnet.ulaval.ca/pdf/compendium2011-12/3.8_industrial_development.pdf>.
- Keillor, P., éditeur (2003) : Living on the coast: protecting investments in shore property on the Great Lakes; United States Army Corps of Engineers et Université du Wisconsin, Détroit, Michigan, 49 p., <<http://www.seagrant.umn.edu/downloads/ch002.pdf>>.
- Kerr Wood Leidal Associates Ltd (2008) : Vulnerability of Vancouver sewerage area infrastructure to climate change; Metro Vancouver, 126 p. <http://www.metrovancouver.org/services/air-quality/AirQualityPublications/Vulnerability_climate_change.pdf>.
- Kildow, J.T. et McIlgorm, A. (2010) : The importance of estimating the contribution of the oceans to national economies; *Marine Policy*, vol. 34, n° 3, p. 367–374. doi:10.1016/j.marpol.2009.08.006
- Kildow, J.T., Colgan, C.S. et Scorse, J.S. (2009) : State of the U.S. ocean and coastal economies; National Ocean Economics Program, 56 p., <http://www.miis.edu/media/view/8901/original/NOEP_Book_FINAL.pdf>.
- Kovacs, P. et Thistletonwaite, J. (2014) : Industry; 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. 65–98, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre5-Industrie_Fra.pdf>.
- KPMG (2010) : Climate change and sustainability services; KPMG, Topics, <<http://www.kpmg.com/global/en/topics/climate-change-sustainability-services/pages/default.aspx>>.
- Lamont, G., Readshaw, J., Robinson, C. et St-Germain, P. (2014) : Greening shorelines to enhance resilience, an evaluation of approaches for adaptation to sea level rise; guide rédigé par SNC Lavalin à l'intention du Stewardship Centre for BC et remis à Ressources naturelles Canada, 46 p. <http://www.stewardshipcentrebc.ca/PDF_docs/reports/Greening_Shorelines_to_Enhance_Resilience.pdf>.
- Lane, D.E. et R.L. Stephenson (1998) : A framework for risk analysis in fisheries decision making; *ICES Journal of Marine Science*, vol. 51, n° 1, p. 1–13.
- 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
- Larrivée, C. et Simonet, G. (2007) : Testing the assumptions: assessing infrastructures vulnerability to climate change; *Municipal World*, vol. 117, n° 6, p. 27–28.
- Lemmen, D.S., Johnston, M., Ste-Marie, C. et Pearce, T. (2014) : Ressources naturelles; 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. 65–98, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre3-Ressources-naturelles_Fra.pdf>.
- 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, Ontario, 448 p., <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/full-complet_f.pdf>.
- Linham, M.M. et Nicholls, R.J. (2010) : Technologies for climate change adaptation – coastal erosion and flooding; TNA Guidebook Series, Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 150 p., <http://www.unep.org/pdf/TNAhandbook_CoastalErosionFlooding.pdf>.
- Lotze, H. et M. Glaser. (2009) : Ecosystem services of semi-enclosed marine systems; dans *Watersheds, Bays, and Bounded Seas: The Science and Management of Semi-Enclosed Marine Systems*, E.R. Urban, B. Sundby, P. Malonotte-Rizzoli et J.M. Melillo (éd.); Island Press, Washington, District de Columbia, p. 227–249.
- Lotze, H.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay, M.C., Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H. et Jackson, J.B.C (2006) : Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas; *Science*, vol. 312, n° 5781, p. 1806–1809.
- 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
- Mandale, M., Foster, M. et Chiasson, P.Y. (2000) : La valeur économique des ressources associées à la mer au Nouveau-Brunswick; rapport rédigé à l'intention du Ministère des Pêches et de l'acquaculture du Nouveau-Brunswick et Pêches et Océans Canada, 73 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/245997f.pdf>>.
- Mandale, M., Foster, M. et Plumstead, J.E. (1998) : Estimating the economic value of coastal and ocean resources: the case of Nova Scotia; Comité consultatif de l'information sur les zones côtières de l'Atlantique, Pêches et Océans Canada, Environnement Canada, Nova Scotia Departments of Economic Development and Tourism, Environment, Fisheries and Aquaculture, Chester, Nouvelle-Écosse, 54 p.
- Manson, G.K. (2005) : On the coastal populations of Canada and the world; comptes rendus de la 12e conférence canadienne sur le littoral, 6–9 novembre 2005, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, 11 p.
- 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
- McBean, G. et Henstra, D. (2003) : Climate change, natural hazards and cities; rapport rédigé par l'Institute for Catastrophic Loss Reduction à l'intention de Ressources naturelles Canada, ICLR Research Paper Series, n° 31, 16 p., <http://www.iclr.org/images/Climate_Change_Natural_Hazards_and_Cities.pdf>.
- Mercier, D. et Chadenas, C. (2012) : La tempête Xynthia et la cartographie des zones noires sur le littoral français: analyse critique à partir de l'exemple de La Faute-sur-Mer (Vendée); Norois, n° 222, p. 45–60.
- 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>>.
- Mercer Clarke, C.S.L. (2011) : A proposed framework for assessing and reporting on the status and trends in oceans and coastal health in Canada; The Canadian Healthy Oceans Network (CHONE), Université Memorial de Terre-Neuve, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, 150 p.
- Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick (2005) : A coastal areas protection policy for New Brunswick; Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, Direction de la planification durable, 15 p., <<http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Water-Eau/CoastalAreasProtectionPolicy.pdf>>.
- Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmquist, T., Hoegh-Guldberg, O., Lavorel, S., Mace, G.M., Palmer, M., Scholles, R. et Yahara, T. (2009) : Biodiversity, climate change, and ecosystem services; *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 1, n° 1, p. 46–54. doi:10.1016/j.cosust.2009.07.006
- Moser, S.C., Davidson, M.A., Kirshen, P., Mulvaney, P., Murley, J.F., Neumann, J.E., Petes, L. et Reed, D. (2014) : Coastal zone development and ecosystems; chapitre 25 dans *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, J.M. Melillo, T.T.C. Richmond et G.W. Yohe (ed.); United States Global Change Research Program, p. 579–618, <http://s3.amazonaws.com/nca2014/low/NCA3_Climate_Change_Impacts_in_the_United%20States_LowRes.pdf?download=1>.
- Muir, D., Dawson, A.G., Gagnon, A.S. et O'Mahony, C. (2013) : Vulnerability and adaptation to extreme coastal flooding: an example from the South Ford area, Scottish Outer Hebrides; dans *Coasts, Marine Structures and Breakwaters: From Sea to Shore – Meeting the Challenges of the Sea*; Institution of Civil Engineers, Actes de la conférence du 18–20 septembre 2013, Edinburgh, Royaume-Uni, p. 1–11.

- Munang, R., Liu, J. et Thiaw, I. (2009) : The role of ecosystem management in climate change adaptation and disaster risk reduction; UNEP Copenhagen discussion series, Paper 2, 7 p., <http://www.unep.org/climatechange/Portals/5/documents/UNEP-DiscussionSeries_2.pdf>.
- Nantel, P., Pellatt, M.G., Keenleyside, K. et Gray, P.A. (2014) : Biodiversité et aires protégées; 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. 159-190, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre6-Biodiversite_Fra.pdf>.
- Newfoundland and Labrador Department of Finance (2005) : Estimating the value of the marine, coastal and ocean resources of Newfoundland and Labrador: updated for the 2001–2004 period; rapport rédigé par la Direction de l'économie et de la statistique du Ministère des Finances à l'intention de Pêches et Océans Canada, 26 p., <<http://www.economics.gov.nl.ca/pdf/2005/oceans/nl.pdf>>.
- Newfoundland and Labrador Statistics Agency (2010) : Hurricane Igor; Newfoundland and Labrador Department of Finance, <<http://www.stats.gov.nl.ca/maps/PDFs/HurricaneIgor.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
- Nicholls, R.J., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Château, J. et Muir-Wood, R. (2008) : Ranking port cities with high exposure and vulnerability to climate extremes: exposure estimates; *OECD Environment Working Papers*, n° 1, 62 p., <<http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/5kzssgsh742.pdf?expires=1437920507&id=id&accname=guest&checksum=53FCAAFED82F47F8F1A701B1E30F175A>>.
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J., Hay, J., McLean, R., Ragoona-den, S. et Woodroffe, C.D. (2007) : Coastal systems and low-lying areas; dans *Changements climatiques 2007: conséquences, adaptation et vulnérabilité*; contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), M. Parry, O. Canziani, J. Palutikoff, P. van der Linden et C. Hanson (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 315-356, <<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter6.pdf>>.
- 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
- Noble, D., Bruce, J. et Egener, M. (2005) : An overview of the risk management approach to adaptation to climate change in Canada; *Global Change Strategies International (GCSI)*, Ottawa, Ontario, 28 p.
- OCDE [Organisation de coopération et de développement économiques] (2009) : *Adaptation au changement climatique et coopération pour le développement: document d'orientation*; Éditions OCDE, Paris, France, 193 p., <http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/development/adaptation-au-changement-climatique-et-cooperation-pour-le-developpement-document-d-orientation_9789264060296-fr#page1>.
- Office national de l'énergie (2011) : La revue des forages extracotiers dans l'Arctique canadien; Office national de l'énergie, Calgary, Alberta, 54 p., <<http://www.neb-one.gc.ca/nrth/rctcffshrdrlngrwv/2011fnlprt/2011fnlprt-fra.pdf>>.
- ONU/SIPC [Stratégie internationale de prévention des catastrophes de l'Organisation des Nations Unies] et ONU/BCAH [Bureau de la coordination des affaires humanitaires de l'Organisation des Nations Unies] (2008) : Préparation à une réponse efficace en cas de catastrophe: ensemble de directives et indicateurs pour la mise en œuvre de la priorité 5 du Cadre d'action de Hyogo; ONU/SIPC et ONU/BCAH, Genève, Suisse, 57 p., <http://www.unisdr.org/files/2909_ochadisasterpreparednesseffectivere.pdf>.
- Parcs Canada (2007) : Parc national du Canada de l'Île-du-Prince-Édouard et lieu historique national du Canada Dalvay-by-the-Sea: Plan directeur; Parcs Canada, 81 p., <http://www.pc.gc.ca/~/media/pn-np/pe/pei-ipe/o-z/pd-mp_f.ashx>.
- Parris, A., Bromirski, P., Burkett, V., Cayan, D., Culver, M., Hall, J., Horton, R., Knutti, K., Moss, R., Obeysekera, J., Sallenger, A. et Weiss, J. (2012) : Global sea level rise scenarios for the United States National Climate Assessment; National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Maryland, NOAA Tech Memo OAR CPO-1, 37 p., <http://scenarios.globalchange.gov/sites/default/files/NOAA_SLR_r3_0.pdf>.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2014a) : À propos des ports pour petits bateaux; Pêches et Océans Canada, Sur l'eau, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/sch-ppb/aboutsch-aproposppb-fra.asp>>.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2014b) : 2014 Info-éclair Pêches canadiennes; Pêches et Océans Canada, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/facts-Info-14-fra.htm>>.
- Pew Oceans Commission (2003) : America's living oceans: charting a course for sea change; Pew Oceans Commission, Arlington, Virginie, A report to the nation – recommendations for a new oceans policy, 140 p., <http://www.pewtrusts.org/~/media/Assets/2003/06/02/Full_Report.pdf>.
- PNUE [Programme des Nations Unies pour l'Environnement] (2010) : Nagoya Oceans Statement; Dixième réunion de la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique (CBD COP-10), Nagoya, Japon, 3 p., <https://www.sof.or.jp/en/topics/pdf/201010_nagoya.pdf>.
- PNUE-GPA [Programme des Nations Unies pour l'environnement-Programme d'action mondial pour la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres] (2005) : Guiding principles for post-tsunami rehabilitation and reconstruction: the Cairo principles; Tsunami Disaster Task-Force en collaboration avec le Bureau de coordination du PNUE du Programme d'action mondial pour la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres (PNUE-GPA), Le Caire, Égypte, 8 p.
- Prince Edward Island Department of Environment, Labour and Justice (2011) : Saltwater intrusion and climate change: a primer for local and provincial decision makers; Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard, 26 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca.acasa/files/Saltwater%20Intrusion%20and%20Climate%20Change%20in%20Atlantic%20Canada.pdf>>.
- Rapport, D.J. et Whitford, W.G. (1999) : How ecosystems respond to stress: common properties of arid and aquatic systems; *BioScience*, vol. 49, n° 3, p. 193-203. doi:10.2307/1313509
- Ressources naturelles Canada (2014a) : Études de cas supplémentaires; S'adapter aux changements climatiques: une introduction à l'intention des municipalités canadiennes, <<http://www.rncan.gc.ca/environnement/ressources/publications/impacts-adaptation/etudes-cas/11083>>.
- Ressources naturelles Canada (2014b) : Population distribution, 2006; Ressources naturelles du Canada, Atlas du Canada, <<http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/maps/population.html#population>>.
- Rice, J.C. et Garcia, S.M. (2011) : Fisheries, food security, climate change, and biodiversity: characteristics of the sector and perspectives on emerging issues; *ICES Journal of Marine Science*, vol. 68, n° 6, p. 1343-1353.
- Richardson, G.R.A. et Otero, J. (2012) : Outils d'aménagement locaux pour l'adaptation aux changements climatiques; Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 38 p., <<http://www.defisdescommunautescotieres.org/public/documents/nouvelles/index/landuse-f.pdf>>.
- Ricketts, P. et P. Harrison. (2007) : Coastal and ocean management in Canada: moving into the 21st century; *Coastal Management*, vol. 35, n° 1, p. 5-22.
- Robinson, G. (2015) : State of the industry (2015); présentation faite à la 2015 Canadian Insurance Outlook, 30e Petit-déjeuner réunion annuel, 31 mars 2015, Toronto, Ontario, 34 p., <http://media.swissre.com/documents/2015_canadian_bkfst_mtg_robinson_state_industry.pdf>.
- Rockström, J. et Klum, M. (2015) : Big world, small planet: abundance within planetary boundaries; Max Ström Publishing, Stockholm, Suède, vidéo, <<https://www.cigionline.org/events/big-world-small-planet-abundance-within-planetary-boundaries>>.
- Roger A. Stacey Consultants Ltd. (2003) : Canada's ocean industries: contribution to the economy 1988-2000; Pêches et Océans Canada, 78 p.
- 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
- Scott, D. (2011) : Climate change and a healthy, sustainable environment: an opportunity for recreation and parks leadership?; rapport rédigé pour le Sommet national des loisirs 2011, Lake Louise, Alberta, 28 p., <http://lin.ca/sites/default/files/attachments/Scott_Daniel%5B1%5D.pdf>.
- Scott, D., Ameling, B., Becken, S., Ceron, J.-P., Dubois, G., Gössling, S., Peeters, P. et Simpson, M.C. (2008) : Climate change and tourism: responding to global challenges; Organisation mondiale du tourisme (OMT) et Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Madrid, Espagne, 256 p., <<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/WEBx0142xPA-ClimateChangeandTourismGlobalChallenges.pdf>>.
- Scott, D., Hall, C.M. et Gössling, S. (2012) : Tourism and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation; *Contemporary Geographies of Leisure, Tourism and Mobility*, Routledge, Londres, Royaume-Uni, 464 p.
- Sécurité publique Canada (2013) : Base de données canadienne sur les catastrophes; Désastre naturel, Inondation, Duncan et North Cowichan (Île de Vancouver) C.-B.; Sécurité publique Canada, <<http://bdc.suretepublique.gc.ca/dtpg-fra.aspx?cultureCode=en-Ca&provinces=2&eventTypes=%27FL%27&eventStartDate=%2720090101%27c%2720091231%27&normalizedCostYear=1&eventld=1030>>.

- Séguin, J., éditeur (2008) : Santé et changements climatiques: évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada; Santé Canada, Ottawa, Ontario, 484 p., <http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/hc-sc/H128-1-08-528E.pdf>.
- Seguin, J. and Berry, P. (2008) : Conclusion; chapitre 9 dans Santé et changements climatiques: évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada, J. Séguin (éd.); Santé Canada, Ottawa, Ontario, 484 p., <http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/hc-sc/H128-1-08-528E.pdf>.
- Silver, A. et Conrad, C. (2010) : Public perception of and response to severe weather warnings in Nova Scotia, Canada; Meteorological Applications, vol. 17, n° 2, p. 173-179. doi:10.1002/met.198
- Simpson, M.C., Mercer Clarke, C.S.L., Clarke, J.D., Scott, D. et Clarke, J.A. (2012) : Coastal setbacks in Latin America and the Caribbean: a study of emerging issues and trends that inform guidelines for coastal planning and development; Banque interaméricaine de développement, Note technique IDB-TN-476, 175 p., <<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37305263>>.
- Snelgrove, P.V.R., Flitner, M., Urban, E., Jr, Ekau, W., Glaser, M., Lotze, H., Philippart, C., Sompongchaiyakul, P., Yuwono, E. et Melillo, J. (2009) : Governance and management of ecosystem services in semi-enclosed marine systems; dans Watersheds, Bays, and Bounded Seas: The Science and Management of Semi-Enclosed Marine Systems, E.R. Urban, B. Sundby, P. Malonotte-Rizzoli et J.M. Melillo (éd.); Island Press, Washington, District de Columbia, p. 49-76.
- 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 and Coastal Management, vol. 90, p. 50-57.
- Stanton, E.A., Davis, M. et Fencl, A. (2010) : Costing climate impacts and adaptation: a Canadian study on coastal zones; rapport rédigé par la Stockholm Environment Institute à l'intention de la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, Somerville, Massachusetts, 106 p., <http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Climate-mitigation-adaptation/Economics_of_climate_policy/sei-canada-coastal-zones-june-2010.pdf>.
- Statistique Canada (2012) : Série Perspective géographique, Recensement de 2011; Catalogue de Statistique Canada, produit no. 98-310-XWE2011004, Produits analytiques, <<http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/as-sa/fogs-spq/Facts-pr-eng.cfm?Lang=fra&GC=35>>.
- Stern, N. (2007) : The Economics of Climate Change: The Stern Review; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 712 p.
- Stockholm Resilience Centre (2015) : Resilience dictionary; Stockholm Resilience Centre, What is resilience?, <<http://www.stockholmresilience.org/21/research/research-news/2-19-2015-what-is-resilience.html>>.
- Stothart, P. (2011) : F&F 2011: facts and figures of the Canadian mining industry; L'Association minière du Canada, 120 p., <<http://www.miningnorth.com/wp-content/uploads/2012/04/MAC-FactsFigures-2011-English-small.pdf>>.
- Sussman, F.G. et Freed, J.R. (2008) : Adapting to climate change: a business approach; Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 35 p., <http://www.pewtrusts.org/~media/legacy/uploadedfiles/wwwpewtrustsorg/reports/global_warming/BusinessAdaptationpdf.pdf>.
- Sustainability Solutions Group and MC3 (2013) : Sea level rise in BC: mobilizing science into action; Fraser Basin Council, p. 1-8, <http://www.retooling.ca/_Library/docs/bc_sea_level_rise_en.pdf>.
- Tecsult Inc. (2008) : Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles; Ville de Sept-Îles, 150 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, p. 139-150.
- Thomson, R.E., Bornhold, B.D. et Mazzotti, S. (2008) : An examination of the factors affecting relative and absolute sea level in British Columbia; Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques 260, 49 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/335209.pdf>>.
- Thrush, S.F. et Dayton, P.K. (2010) : What can ecology contribute to ecosystem-based management?; Annual Review of Marine Science, vol. 2, p. 419-441. doi:10.1146/annurev-marine-120308-081129
- Titus, J.G. (1998) : Rising seas, coastal erosion, and the Takings Clause: how to save wetlands and beaches without hurting property owners; Maryland Law Review, vol. 57, n° 4, p. 1279-1400.
- Titus, J.G., Hudgens, D.E., Trescott, D.L., Craghan, M., Nuckols, W.H., Hershner, C.H., Kassakian, J.M., Linn, C.J., Merritt, P.G., McCue, T.M., O'Connell, J.F., Tanski, J. et Wang, J. (2009) : State and local governments plan for development of most land vulnerable to rising sea level along the US Atlantic coast; Environmental Research Letters, vol. 4, n° 4, art. 044008. doi:10.1088/1748-9326/4/4/044008
- Tomlinson, R.B. et Helman, P. (2006) : Planning principles for local government management of coastal erosion and beaches, with a changing climate – proactive planning guidelines for coastal inundation, erosion and climate change; Griffith Centre for Coastal Management Research, Report 50, 35 p.
- Turner, R.K., Burgess, D., Hadley, D., Coombes, E. et Jackson, N. (2007) : A cost-benefit appraisal of coastal managed realignment policy; Global Environmental Change, vol. 17, n° 3-4, p. 397-407.
- United Kingdom Department for Communities and Local Government (2010) : Planning policy statement 25 supplement: development and coastal change practice guide; United Kingdom Department for Communities and Local Government, Londres, Royaume-Uni, 58 p., <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/7771/1499049.pdf>.
- United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs (2006a) : Shoreline management plan guidance – volume 1: aims and requirements; United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres, Royaume-Uni, 48 p., <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69206/pb11726-smpg-vol1-060308.pdf>.
- United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs (2006b) : Shoreline management plan guidance – volume 2: procedures; United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres, Royaume-Uni, 77 p., <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69207/pb11726v2-smpg-vol2-060523.pdf>.
- United States Climate Change Science Program (2009) : Coastal sensitivity to sea level rise: a focus on the mid-Atlantic region; United States Environmental Protection Agency, Climate Change Science Program, Subcommittee on Global Change Research, Washington, District de Columbia, Synthesis and Assessment Product 4.1, 320 p.
- van Proosdij, D., Graham, J., Bowron, T., Neatt, N., MacIsaac, B. et Wrathall, C. (2014) : Development and application of guidelines for managed realignment to maximize adaptive capacity and ecosystem services; Environnement Canada, 100 p.
- Vasseur, L. (2012) : Getting started with community resilience planning: a kit to implement dialogue on planning community resilience to environmental and climate changes; training manual prepared for the Southern Gulf of St. Lawrence Coalition on Sustainability and the Coastal Communities Challenges–Community University Research Alliance, 20 p.
- Vasseur, L. et Catto, N. (2008) : Canada atlantique; 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, p. 119-170, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch4_e.pdf>.
- Ville de Gibsons (2012) : Gibsons Harbour area plan; rapport rédigé à l'intention de la Ville de Gibsons, Gibsons, Colombie-Britannique, 59 p., <<http://www.gibsons.ca/include/get.php?nodeid=251>>.
- Warren, F.J. et Lemmen, D.S., éditeurs (2014) : Vivre avec les changements climatiques au Canada: perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation; Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 286 p., <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf>.
- Wheeler, P., Ford, V., Klokov, K. et Syroechkovskiy, E. (2010) : Changes in harvest; dans Arctic Biodiversity Trends 2010 –Selected Indicators of Change; CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna) International Secretariat, Akureyri, Islande, p. 92-95, <http://www.grida.no/_res/site/file/publications/ABA2010_screen.pdf>.
- Yohe, G., Knee, K. et Kirshen, P. (2011) : On the economics of coastal adaptation solutions in an uncertain world; Climatic Change, vol. 106, n° 1, p. 71-92.
- Zhai L., Greenan, B., Hunter, J., James, T.S. et Han, G. (2013) : Estimating sea-level allowances for Atlantic Canada under conditions of uncertain sea-level rise; Pêches et Océans Canada, Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques 283, 40 p.
- Zhai, L., Greenan, B., Hunter, J., Han, G., Thomson, R. et MacAulay, P. (2014) : Estimating sea-level allowances for the coasts of Canada and adjacent United States using the Fifth Assessment Report of the IPCC; Pêches et Océans Canada, Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques 300, 146 p.



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

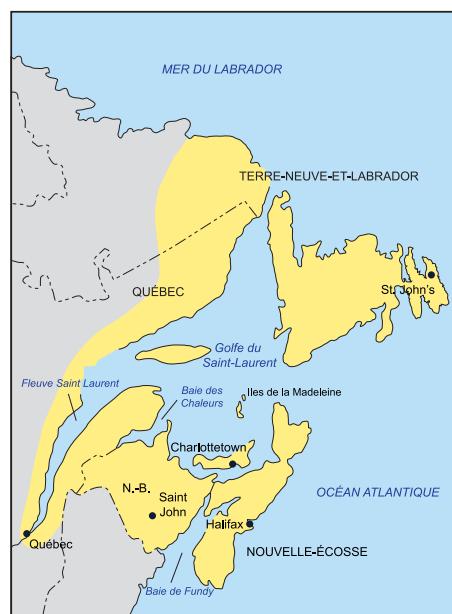


FIGURE 1 : Étendue géographique de la région de la côte Est.

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 dommage 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'accélérer 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 $0,90 \pm 0,37^\circ\text{C}$ (figure 2a). Les stations situées en bordure de l'océan Atlantique se sont réchauffées de $0,75 \pm 0,34^\circ\text{C}$ (figure 2b), alors que celles situées le long de la côte du golfe du Saint-Laurent se sont réchauffées de $1,12 \pm 0,43^\circ\text{C}$ (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'accentuer (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 $0,32^\circ\text{C}$, la plus grosse augmentation ayant

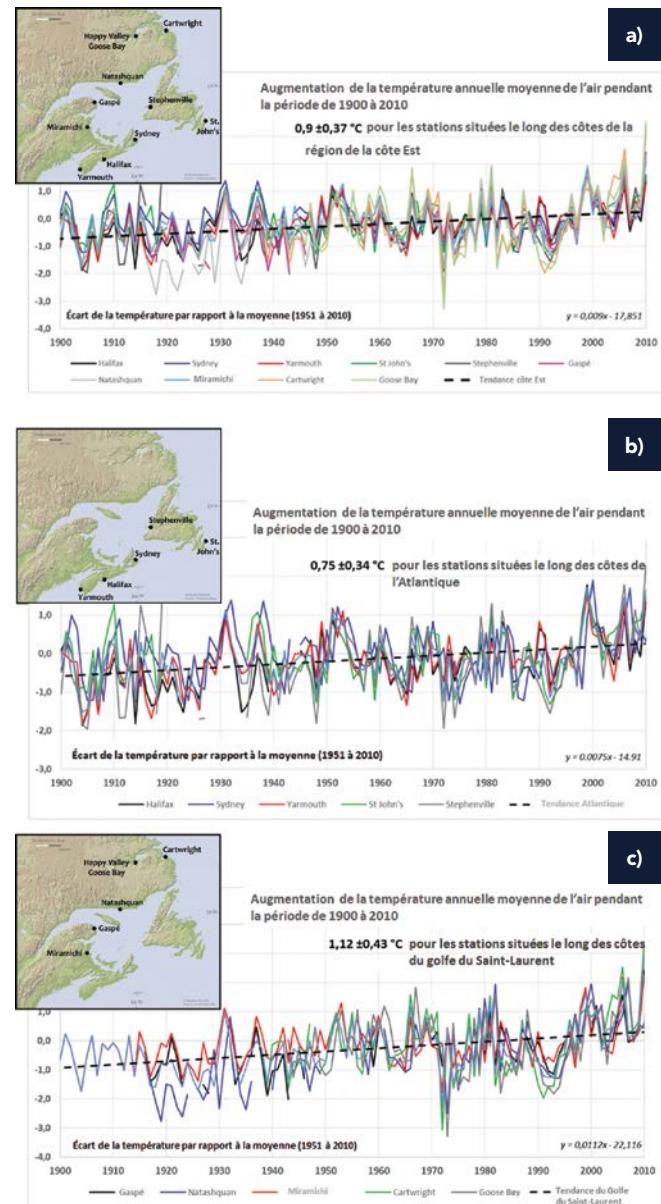


FIGURE 2 : Anomalie de la température annuelle moyenne de l'air (écart par rapport à la moyenne de 1951 à 2010) dans **a)** les stations météorologiques de la région de la côte Est en général, **b)** les stations situées près de l'océan Atlantique et **c)** les stations situées près de la côte du golfe 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 $+1,04^\circ\text{C}$ et $+0,89^\circ\text{C}$ 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 ($+0,38^\circ\text{C}/\text{décennie}$) 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 TEMPÈTES

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).

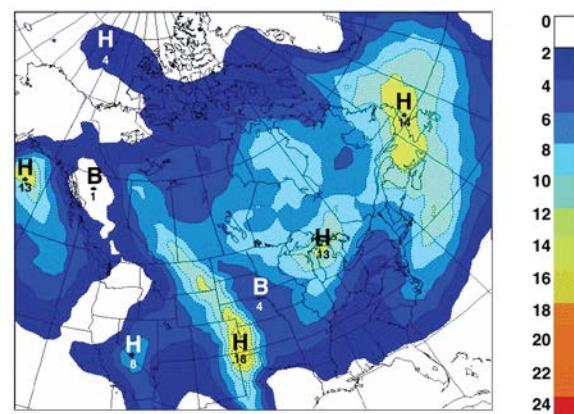


FIGURE 3 : Répartition spatiale de la densité moyenne annuelle des trajectoires de tempête pendant la période de 1961 à 2000 selon une nouvelle analyse ERA-40 (une nouvelle analyse des conditions atmosphériques et troposphériques mondiales pendant une période de 45 ans s'étendant de septembre 1957 à 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 agravera 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 déchargeement 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

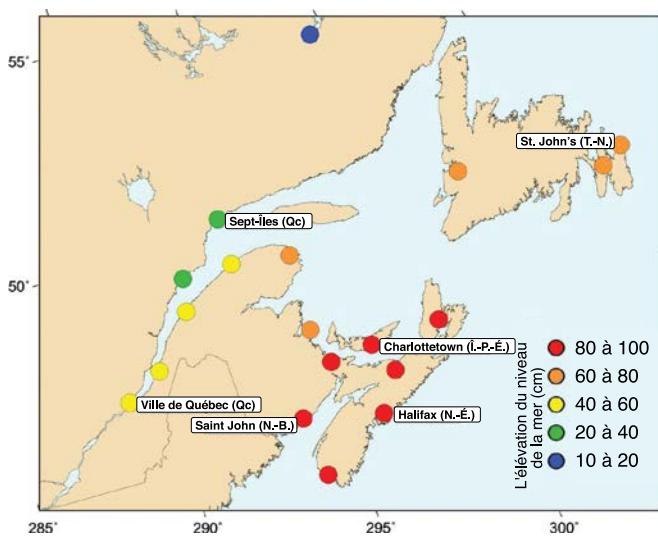
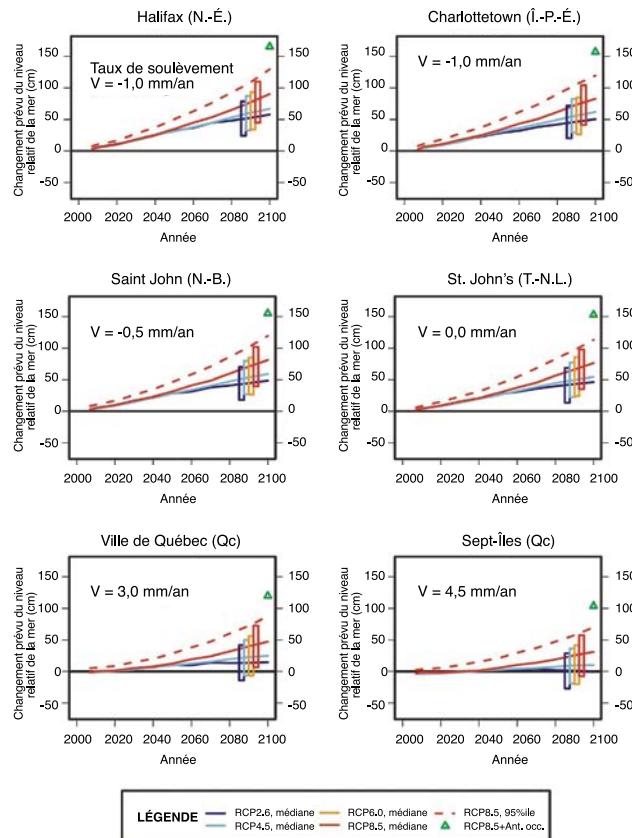


FIGURE 4 : Prévisions de l'élévation du niveau relatif de la mer d'ici 2100 pour la valeur médiane du scénario à émissions élevées (RCP8.5; selon James *et al.*, 2014). Voir le chapitre 2 pour obtenir des renseignements supplémentaires sur les prévisions du niveau de la mer. Les prévisions du niveau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



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).

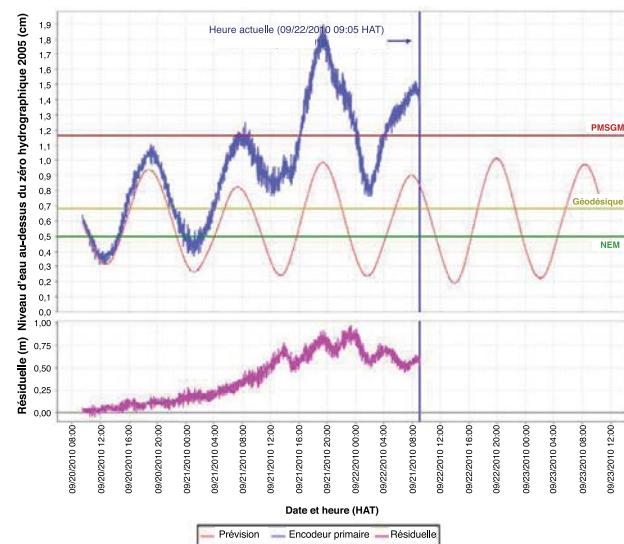


FIGURE 6 : Exemple d'onde de tempête provoquée par l'ouragan Igor (octobre 2010) pendant plusieurs cycles de marée haute à St. John's (T.-N.-L.). La pleine mer supérieure, grande marée (PMSGM) a été dépassée à au moins trois occasions (Service Hydrographique du Canada, Région de l'Atlantique). Abréviations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

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.

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 (I.-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 résonnance 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 entraînent 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) protègera 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).

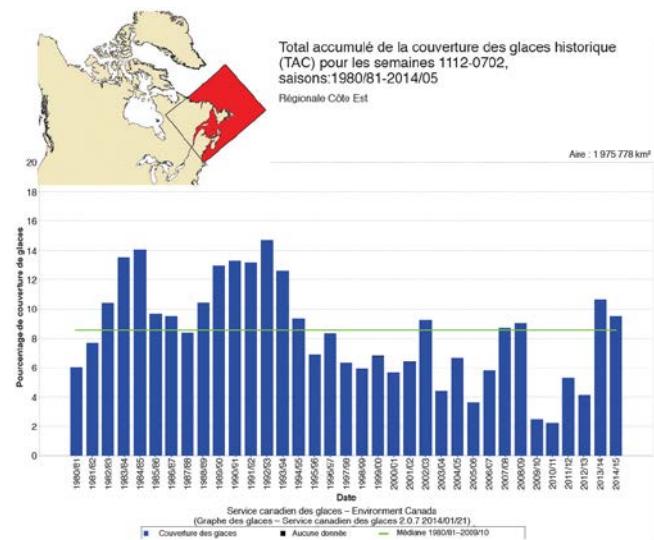


FIGURE 7 : Total accumulé de la couverture des glaces historique pour les semaines du 11 décembre au 7 février de 1980 à 2015 dans la région de la côte Est (Environnement Canada, 2015).

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 Frobel, 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 Frobel, 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 aplatissement graduel des parties supérieures de la plage, ce qui en modifie le profil, détruit les ridges 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 Sérôdes, 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 (*Ascidia 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 agravera 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).

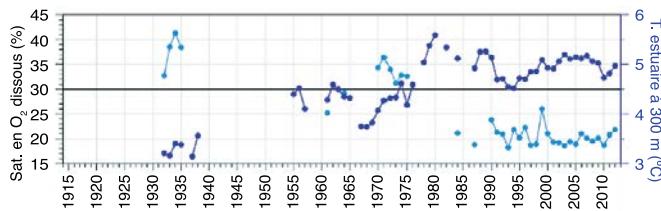


FIGURE 8 : Saturation en oxygène dissous (Sat. en O_2 : carrés bleu floncé) et température (T : points bleu clair) entre 295 m et le fond du bassin profond central de l'estuaire du Saint-Laurent; une saturation de 30 % marque le seuil des conditions d'hypoxie (MPO, 2010).

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'accommorder 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 exigent 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 surpompage; 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 péracarides), alors que les changements dans les communautés planctoniques auront également des répercussions au niveau de la macrofaune des plages (c.-à-d. les péracarides 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;

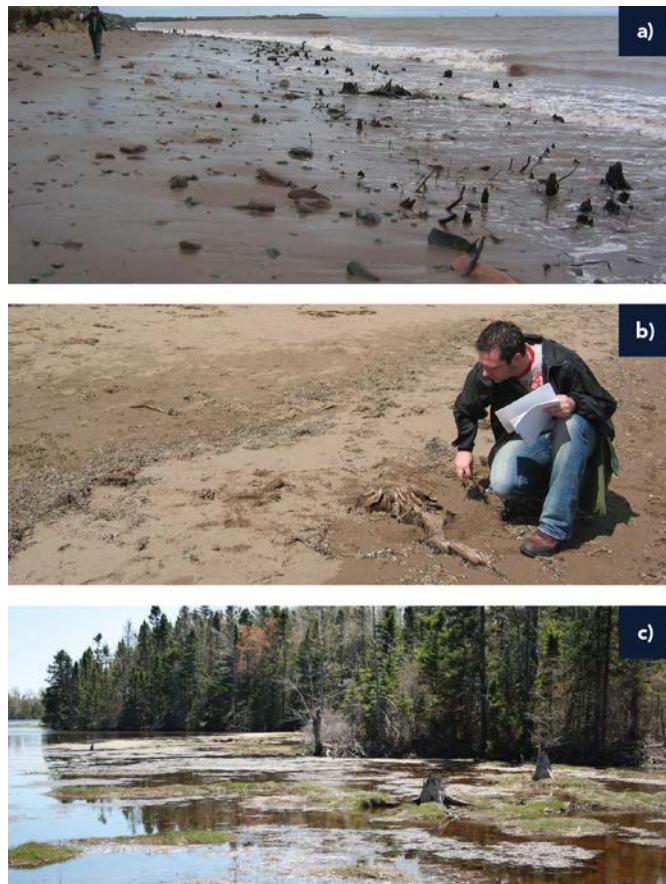


FIGURE 9 : Photos de souches d’arbres *in situ* mises à découvert lors d’une marée basse ou d’une tempête. Photos a) et b) démontrent des souches d’arbres et des racines mises à nu par l’érosion et c) démontre des souches d’arbres recouvertes par l’élévation du niveau d’eau. Endroits des photos: a) Le 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'accréition 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'accréition 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 donné 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 McIlvanny, 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).

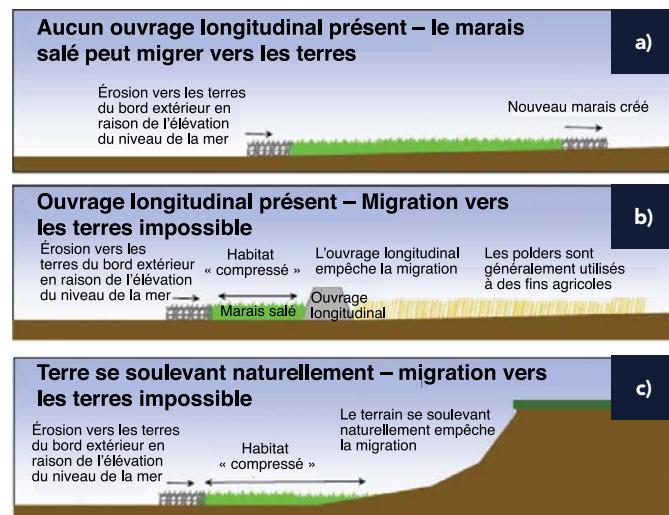


FIGURE 10 : Diagrammes de la migration vers l'intérieur des terres et de la migration vers l'intérieur des terres empêchée d'un marais salé qui a été érodé par l'élévation du niveau de la mer : a) la migration vers l'intérieur des terres se produit naturellement; b) la migration est empêchée par un ouvrage 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.

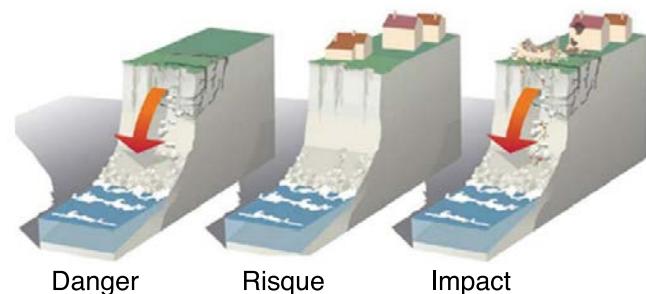


FIGURE 11 : Dangers côtiers, risques liés à l'exposition d'actifs précieux (y compris des services écosystémiques) et impacts (tiré de Ministère de l'Écologie et du Développement durable de France, 2004).

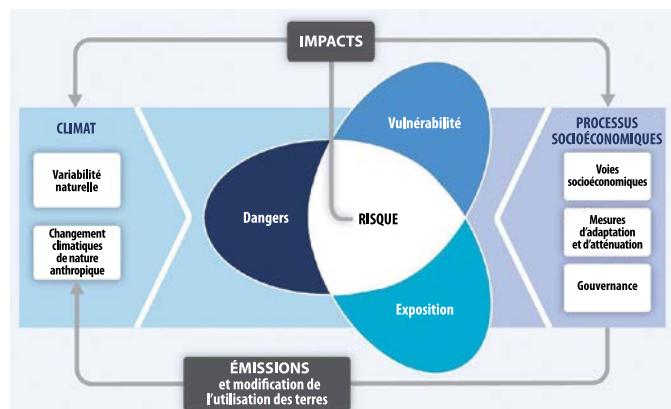


FIGURE 12 : Impacts climatiques associés aux risques côtiers découlant de l'interaction des dangers côtiers et de la vulnérabilité des systèmes exposés (tiré de GIEC, 2014).

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; Tibbets 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 mineraux 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 Canadiens 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 agraver 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 des 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 juge 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

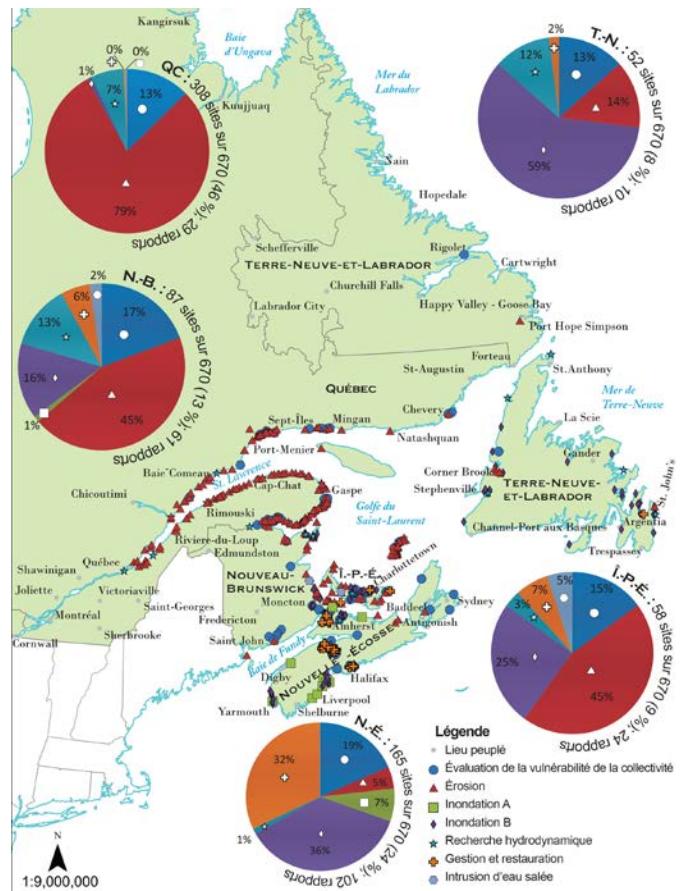


FIGURE 13 : Recueil spatial des sites examinés dans le cadre d'études sur la vulnérabilité dans la région de la côte Est. Les catégories en légende sont les suivantes : évaluations de la vulnérabilité communautaire, érosion (taux, ajustement de la côte, études géologiques), inondations A (ampleur générale 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. MacIsaac 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 consignant 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, incorporaient 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 créées 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 produisent 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 %

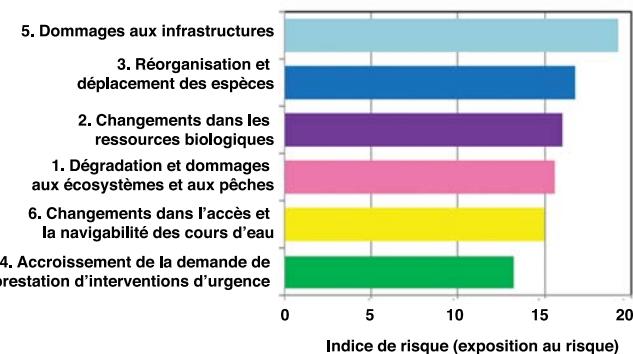


FIGURE 14 : Indice de risque d'adaptation aux changements climatiques sur une échelle de 50 ans pour chacun des six risques cernés par Pêches et Océans Canada (MPO) en ce qui concerne ses activités ministérielles. L'évaluation des risques était fondée sur une opinion d'expert concernant l'ampleur de 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 éclosseries 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 biosalissure, 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 structuraux 	<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 MacIver, 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 estuaire, 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. CVIP, 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, sylvicole [céramique], protohistorique et de contact et historique). En voici des

exemples : Tyron (I.-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'accélèrent, 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 côtiers. 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 côtiers, 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 côtiers, 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 côtiers, avec des exemples issus de la région de la côte Est, précédent 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).

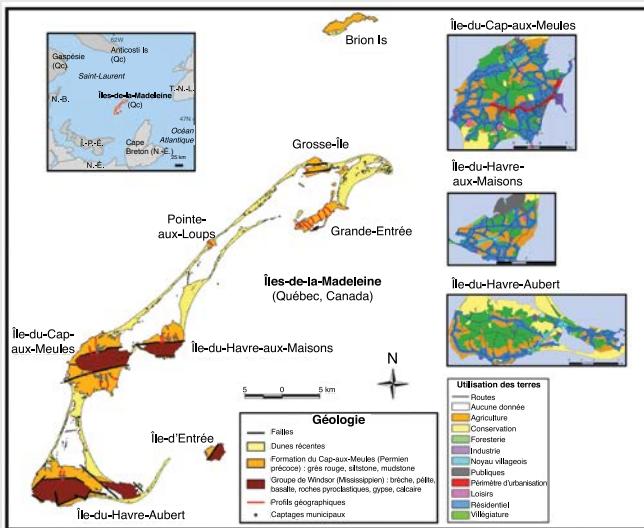


FIGURE 17 : Emplacement, géologie et utilisation des terres des îles de la Madeleine (Rémillard et al., 2012).

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'inlandis 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

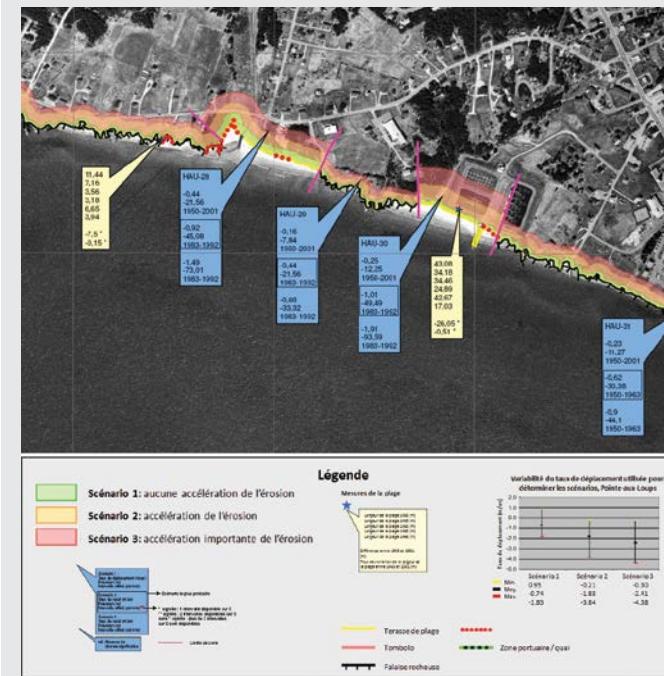


FIGURE 18 : Exemple de scénarios de cartographie numérique et de marges de recul S1, S2 et S3 à Cap-aux-Meules, aux îles de la Madeleine (tiré de Savard et al., 2008).

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

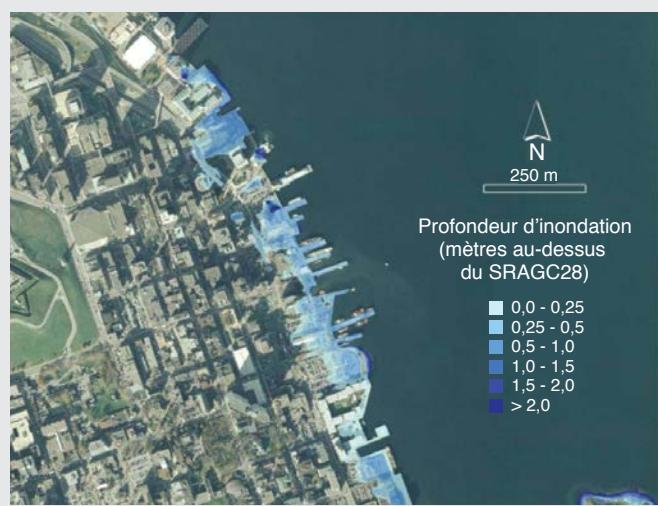


FIGURE 19 : Étendue et profondeur d'inondation (eau morte) pour une élévation de 57 cm du niveau de la mer en fonction d'un événement de niveau d'eau extrême se produisant une fois tous les 50 ans au centre-ville d'Halifax, préparé au moyen d'un modèle altimétrique numérique de données recueillies par 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 ordinaires. 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 limitées. 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 assujetti à un examen et un ajustement à mesure que de nouvelles connaissances scientifiques sont disponibles.

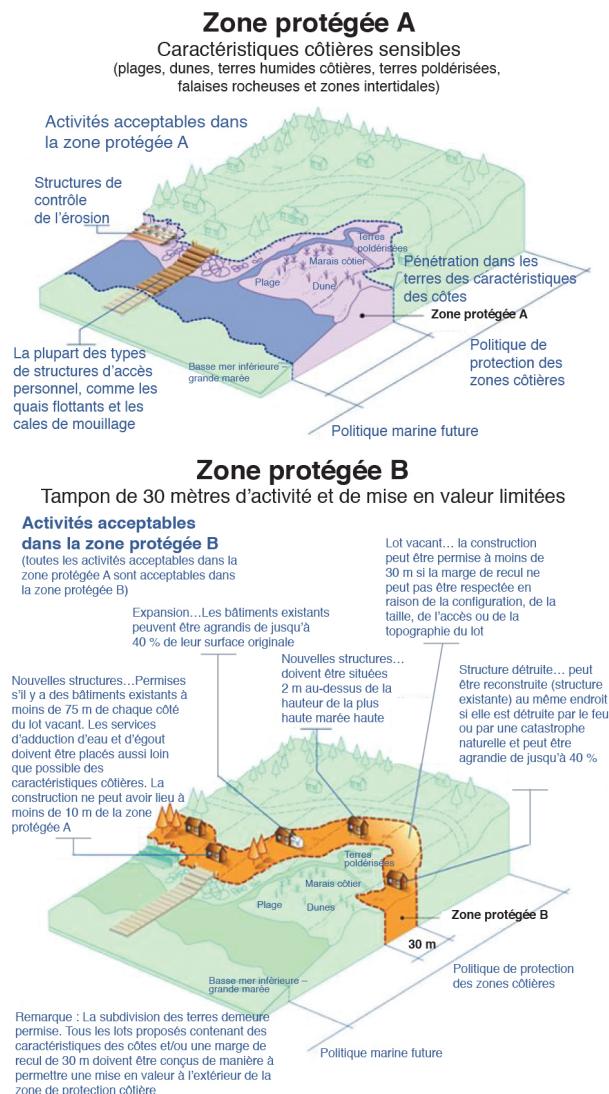


FIGURE 20 : Zones A et B de la Politique de protection des zones côtières du Nouveau-Brunswick (Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002).

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 ampliaient 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).

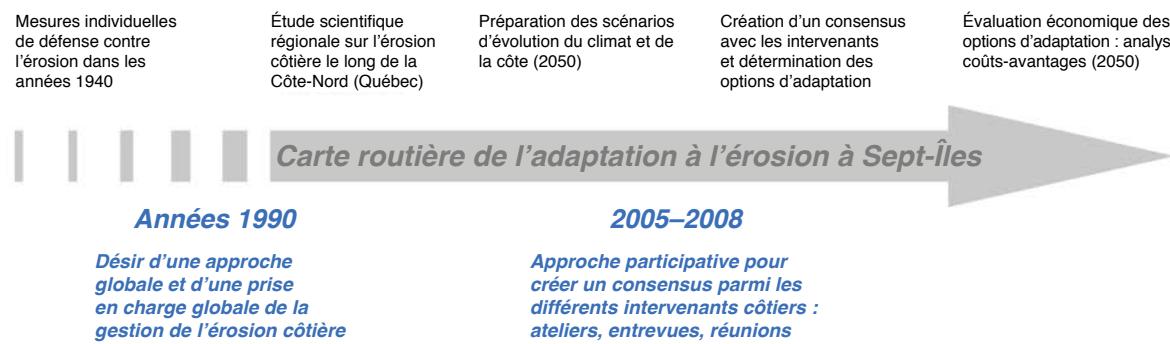


FIGURE 21 : Principales actions et interventions dans le processus menant à l'adaptation à l'érosion à Sept-Îles, au Québec.

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 protégé 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 encaissemens 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 enfouis 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)** enrochements 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).

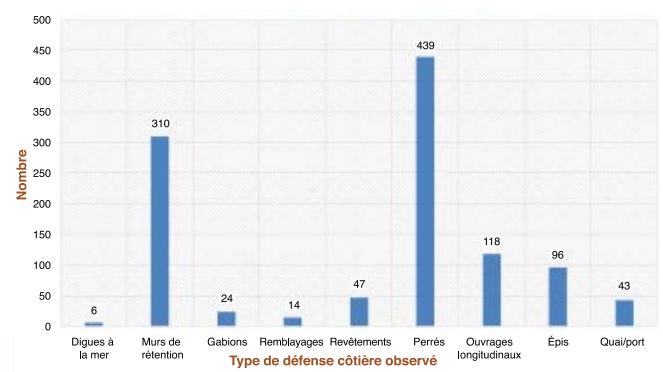


FIGURE 23 : Inventaire des structures de défense côtière le long des côtes nord et est du Nouveau-Brunswick (Breau, 2000).

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 côtière rigides et linéaires peut également entraîner une perte rapide de biodiversité et contribuer à la compression côtière en coingant 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 recharge 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 structurelle 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 structurelles 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/discoveryspace.uepi.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/atlgeo.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/discoveryspace.uepi.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.
- Baugrand, 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-Wiert, S., Drejza, S. et Friesinger, S. (2010) : Caractérisation géomorphologique et sédimentologique des unités hydro-sédimentaires 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://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://coinatlantic.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.nrcan.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/discoveryspace.uepi.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/SWM_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%A9les-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 Paléocindien 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/IntentionMunicipalitesCanadiennes.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/discoveryspace.uepi.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.uinr.ca/wp-content/uploads/2015/07/Climate-Change-2015-Report-WEB-COMPRESSED.pdf>>.
- Davidson-Arnott, 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-Arnott, 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/discoveryspace.uepi.ca.acasa/files/Coastal%20Erosion%20and%20Climate%20Change.pdf>>.
- Davidson-Arnott, R.G.D., van Proosdij, D., Ollerhead, J. et Schostak, 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, Palaeodlimatology, 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'accréation verticale des schorres du Saint-Laurent estuaire, 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.
- Drejza, 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>>.
- Drejza, 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., Bringloe, 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/n1/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://crecotenor.org/sites/default/files/Rapport%20C3%9A9rosion%20des%20berges%20A%20-%20Table%20des%20mat%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/Climatechangethehistoricenvironment.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, Groupe 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.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.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 Tidnish-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 of 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://geonatgs.gc.ca/api/en/nrcan-rncan/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.rncan.gc.ca/pub/geom/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 île 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, Québec, Canada; *Ocean & Coastal Management*, vol. 53, n° 11, p. 669–678.
- Friesinger, S., Dreiza, S., Bernatchez, P., Boyer-Villemaire, U., Van-Wiert, 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 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.
- Garneau, M. (1998) : Paléoécologie d'une tourbière littorale de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, L'Île-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, J.D. 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/discoveryspace.uepi.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., Ruita, 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/discoveryspace.uepi.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. et Chen, A. (sousmis) : Full spectrum climate change adaptation: building community resilience through geovisual engagement; submitted to *Climate 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.mnr.gov.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, <https://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. et McIver, 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.rncan.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 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/discoveryspace.uepi.ca.acasa/files/Lunenburg%20Part%202%20-%20Section%206%20-%20Municipal%20Capacity%20-%20August%202030_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 (Québec, 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.uepi.ca.acasa/files/Péninsule%20acadienne-Photogrammétrie%20et%20cartographie-UdeM-2012_0.pdf>.
- Jolicoeur, S., Giangioppi, M. and 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.
- Kirstmans, 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.uepi.ca.acasa/files/Climate%20Change%20Threats%20to%20Archaeological%20Sites%20-%20Helen%20Kirstmans_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 Thistletonwaite, 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.uepi.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.ope.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.uepi.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.uepi.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.uepi.ca.acasa/files/Yarmouth%20Part%20%20Intro%20and%20Background%20-%20August%2030_0.pdf>.
- Marlin, A. (2013) : Climate change adaptation: a toolkit – Sackville, Port Elgin, Dorchester and Memramcook; rapport commandé par l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 35 p., <<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.uepi.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_science_review_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://digithequarry.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.mcp ei.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'Énergie 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/ministères/egl/environnement/content/changements_climatiques/content/indicateurs_des_changements_climatiques/indicators/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/hr-rn/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/2008ImpactEconomiqueRaport.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., Bourma, T.J., Miranda-Lange, M. et Schimmele, 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/ScR-RS/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>>.
- Muisse, 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/discoveryspace.uepei.ca.acasa/files/Yarmouth%20Part%2020%20-%20Section%2020%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.septrivières.qc.ca/CLIENTS/1-septrivières/docs/upload/sys_docs/Règlement_022005_Règlement_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
- Novaczek, 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/criflerange.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 Litoral I Cuaternario: Homenaje al 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/pe/pei-pe/o-z/pd-mp_fashx>.
- 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/fille.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/fille.web&search1=R=213246>>.
- Parkes, G.S., Ketch, L.A. et O'Reilly, C.T. (1997) : Storm surge events in the Maritimes; compétés 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. 178–183.
- 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; compétés 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., Lluch-Cota, S.E., Nojiri, Y., chmidt, 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.) et 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., Subraelu, 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/RAEReports/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.csrsa.ca/sites/default/files/fichiers/infrastructures_a_risque_dans_les_trois_municipalites_de_la_penisule_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, vol. 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 (GOSIM) Area*, H.P. Benoît, J.A. Gagné, C. Savenkov, 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/sdage-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/rsrcs/cndh-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., Bihani-Poudec, M.-C., Belemalem, Z., Corriveau, M., Bernatchez, P., Bélanger, S., Tolszczuk-Ledclerc, 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/contents/854fd26e-f5ed-51fb-9a75-9f819e88d1a3/i3569e.pdf>>.
- Sherman, K., Belkin, I., Friedland, K.D., O'Reilly, J. et Hyde, K. (2009) : Accelerated warming and emergent 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/l02/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/norois.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 *Lepophtheirus 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.rncan.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.rncan.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.rncan.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.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/225/225116/of_5802.pdf>.
- Tecslt 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
- Tibbets, 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) : Deteriorative 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 estran 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/discoveryspace.ueei.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/CBWS-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/discoveryspace.ueei.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/discoveryspace.ueei.ca.acasa/files/Integrated%20River%20and%20Coastal%20Hydrodynamic%20Flood%20Risk%20Mapping_0.pdf>.
- Webster, T., Kongwonthai, 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/discoveryspace.ueei.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/discoveryspace.ueei.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/discoveryspace.ueei.ca.acasa/files/Yarmouth%20Part%202029620-%20Section%204%20-%20Assets%20Valuation%20-%20August%202030_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(32)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., Lefavire, 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-Loso, 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 relatifs 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.

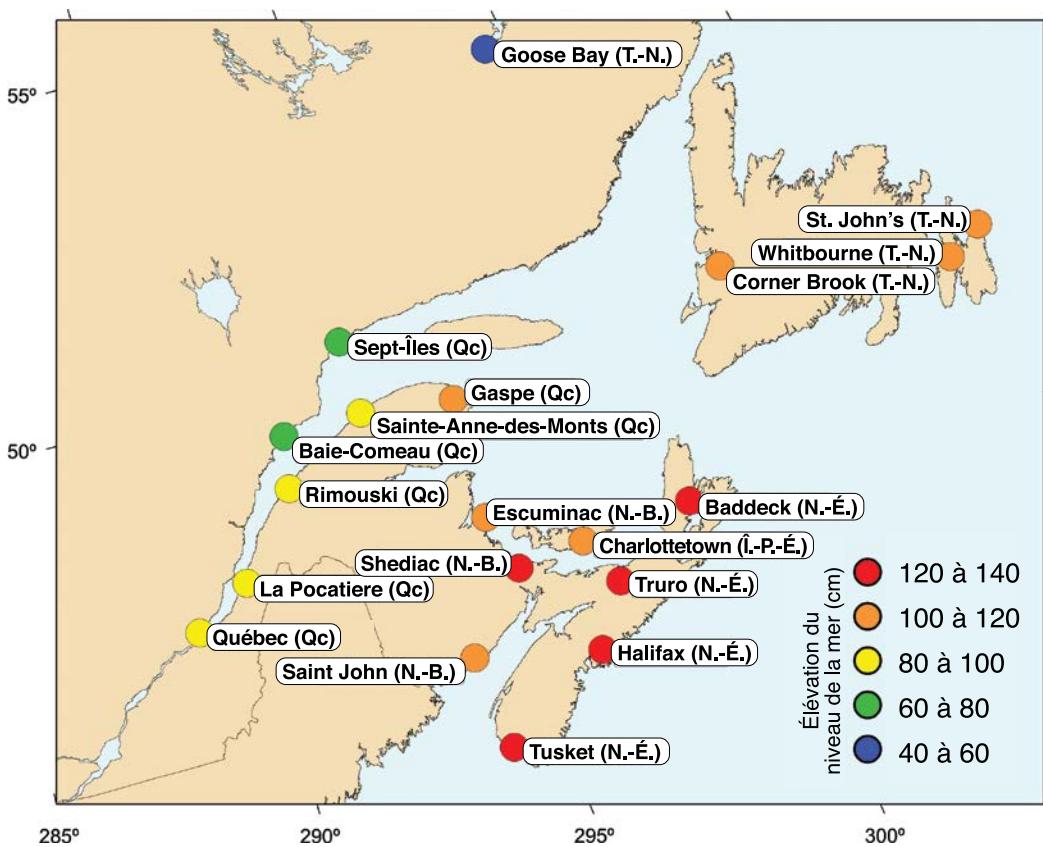


FIGURE A1 : Lieux pour lesquels les prévisions du niveau de la mer sont fournies pour tout le XXI^e siècle (figure A2). Les points suivent un code de couleur pour indiquer le changement prévu du niveau de la mer en 2100 pour le 95^e centile du scénario à émissions élevées (RCP8.5; selon James et al.,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

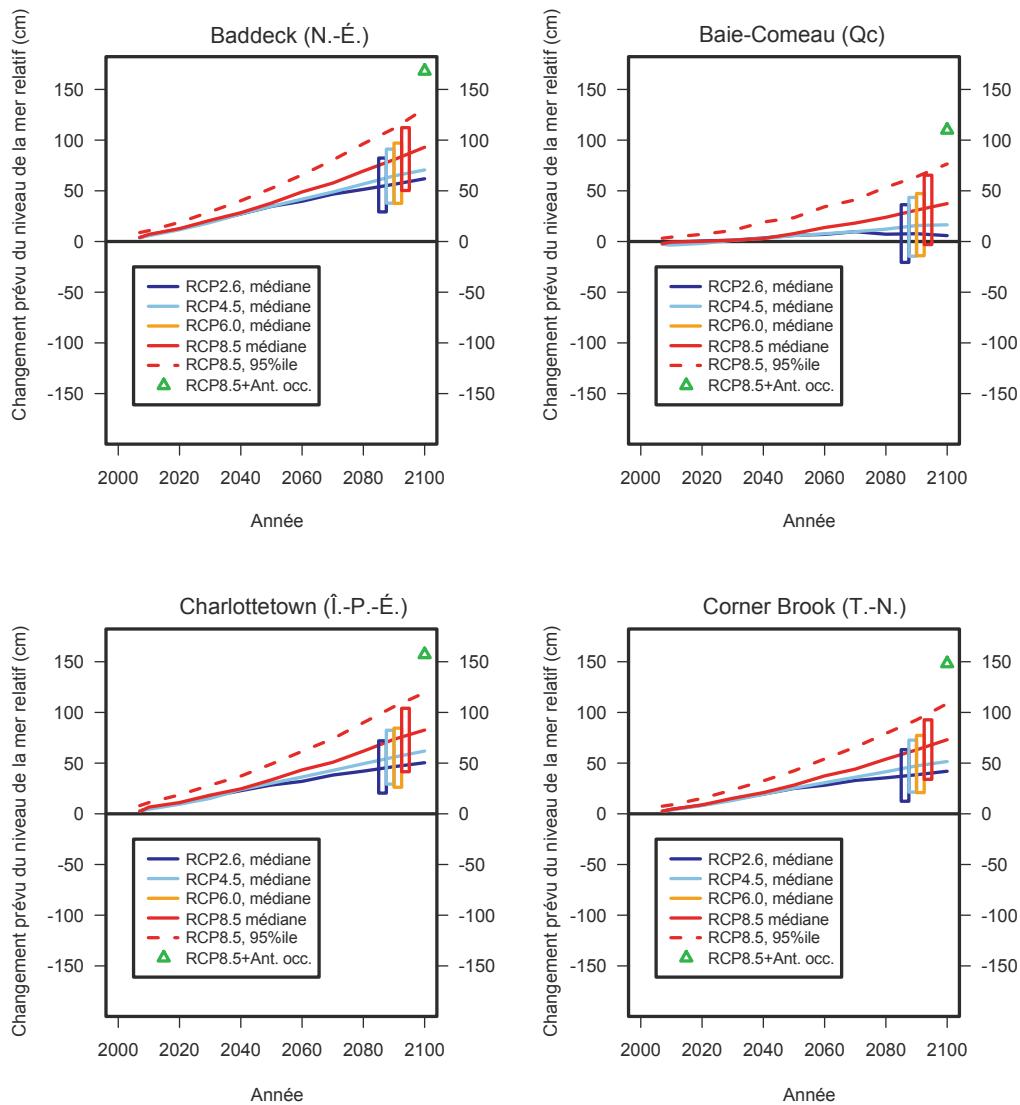
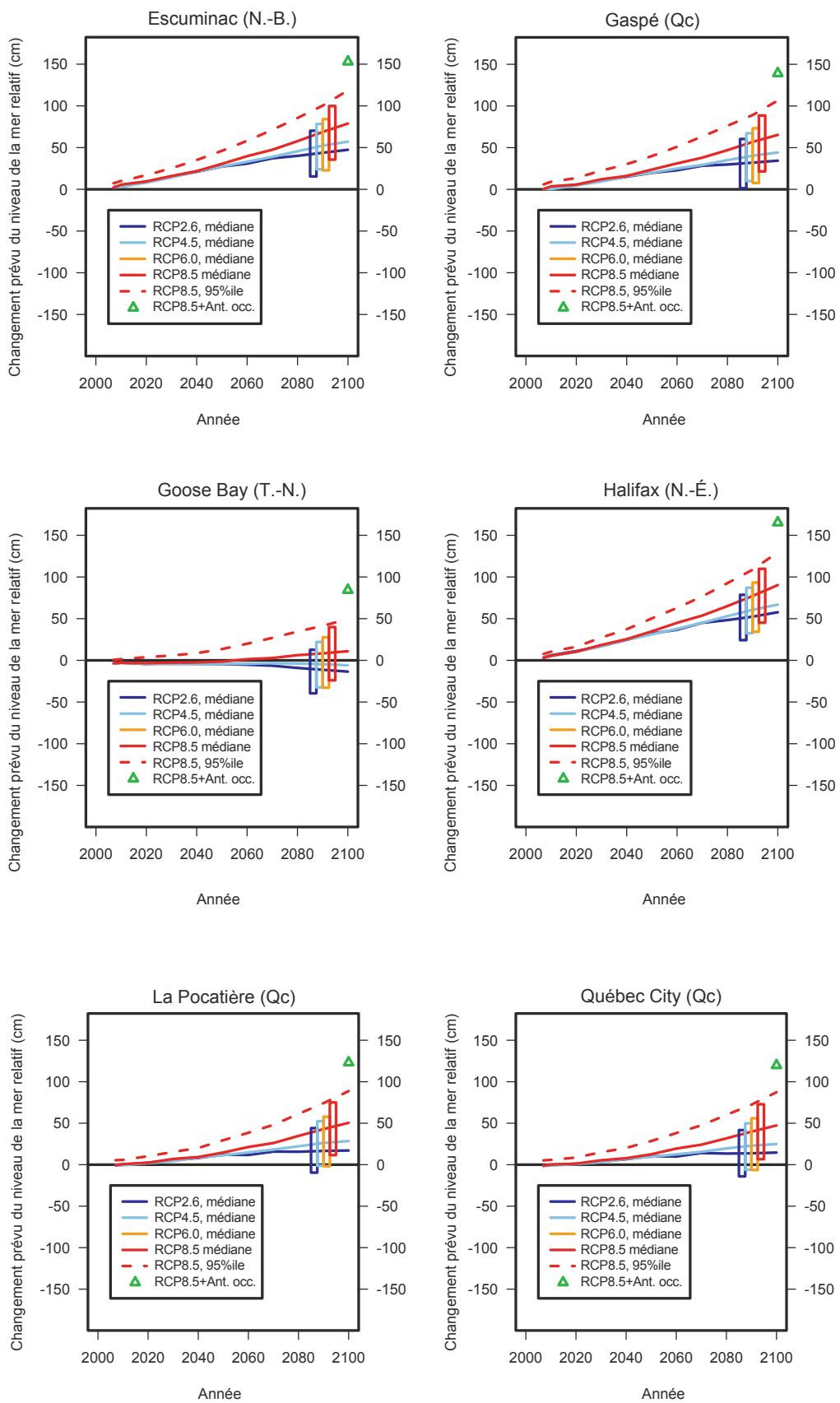
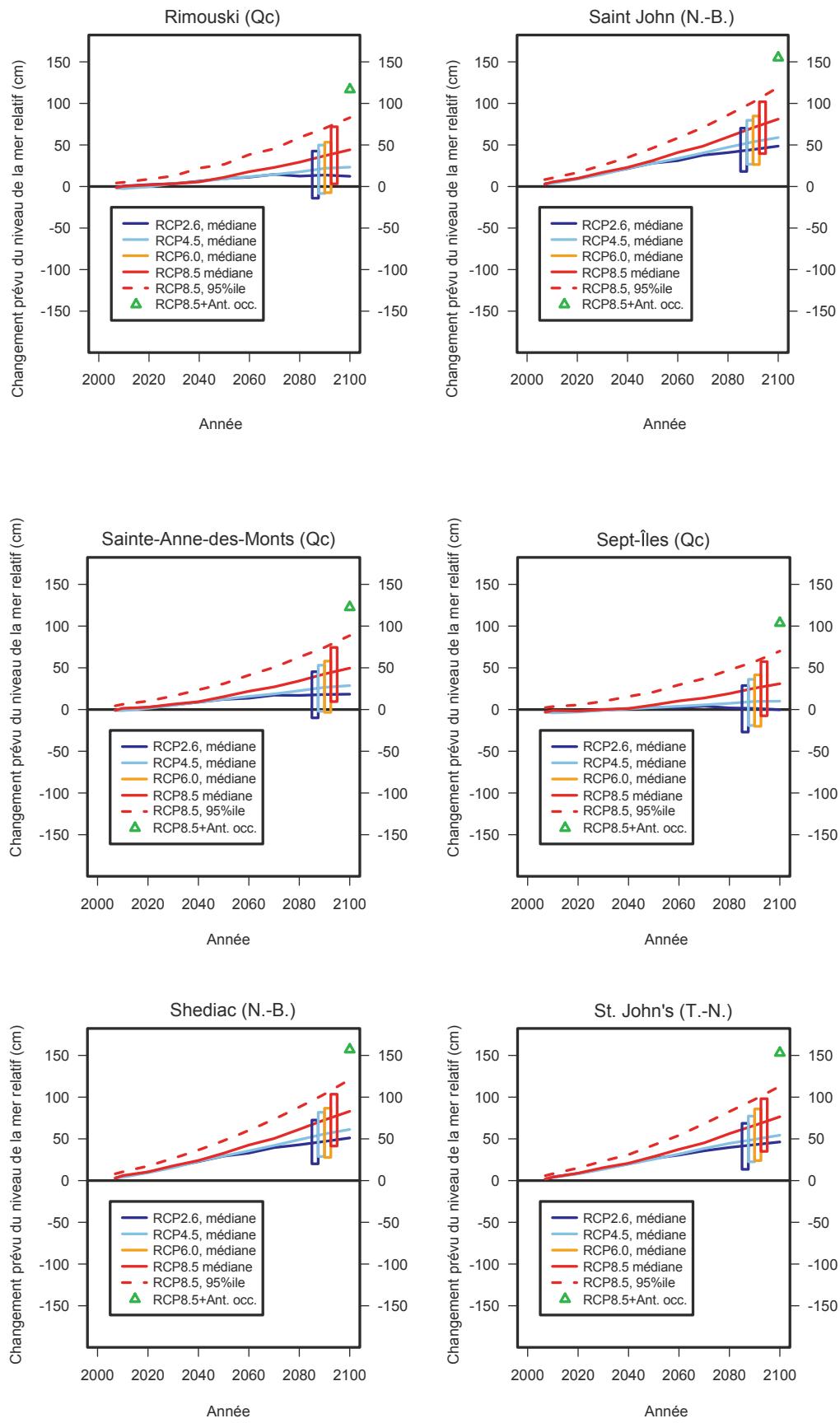


FIGURE A2 : Changements prévus du niveau relatif de la mer pendant tout le XXI^e siècle pour des endroits choisis dans la région de la côte Est (tiré de James et al., 2014, 2015). Le RCP2.6 est le scénario de réduction explicite des émissions, le RCP4.5 est le scénario de maintien du statu quo et le 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). Abréviation : 95 %ile, 95^e centile.

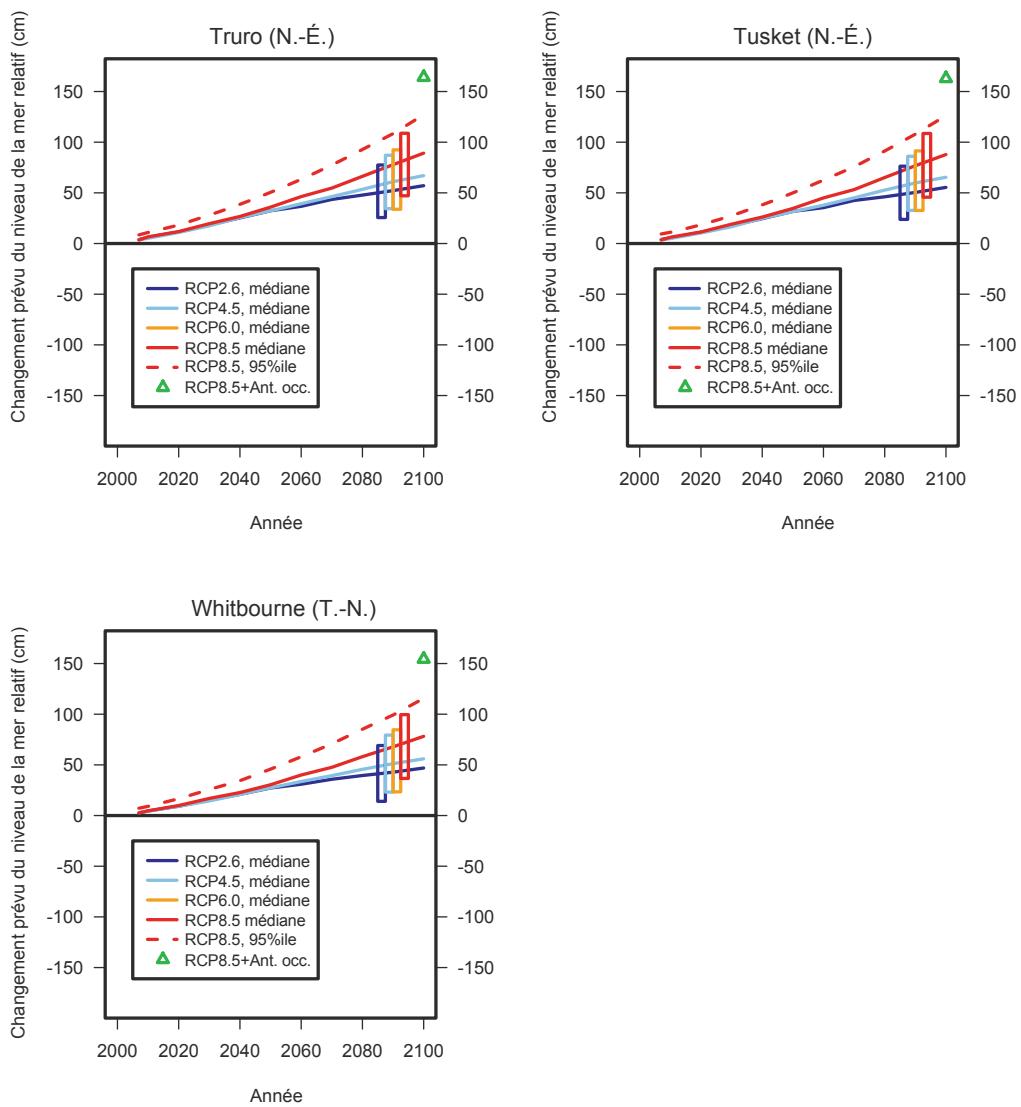
suite à la page suivante



suite à la page suivante



suite à la page suivante





CHAPITRE 5 : PERSPECTIVES RELATIVES À LA RÉGION DE LA CÔTE NORD DU CANADA

Auteurs principaux :

James D. Ford (*Université McGill*), Trevor Bell (*Université Memorial de Terre-Neuve*) et Nicole J. Couture (*Ressources naturelles Canada*)

Auteurs collaborateurs :

David E. Atkinson (*Université de Victoria*), Clara Champalle (*Université McGill*), Ashlee Cunsolo Wilcox (*Université Cape Breton*), Jackie Dawson (*Université d'Ottawa*), Marianne Falardeau-Côté (*Université McGill*), Melanie Flynn (*Université McGill*), Sherilee Harper (*Université de Guelph*), Thomas S. James (*Ressources naturelles Canada*), Jolène Labbé (*Université McGill*), Thierry Lanz (*Université de Victoria*), Ian Mauro (*Université de Winnipeg*), Erin Myers (*Santé Canada*), Nicholas Ogden (*Agence de la santé publique du Canada*), Kathleen Parewick (*Université Memorial de Terre-Neuve*), Tristan Pearce (*University of Sunshine Coast*), Boris Radosavljevic (*Institut Alfred Wegener*), Rudy Riedlperger (*Université Memorial de Terre-Neuve*), Jesse Sayles (*Arizona State University*) et Martin Tremblay (*Affaires autochtones et du Nord Canada*)

Notation bibliographique recommandée :

Ford, J.D., T. Bell et N.J. Couture. « Perspectives relatives à la région de la côte Nord 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), 2016, p. 153–208.

TABLE DES MATIÈRES

PRINCIPALES CONCLUSIONS	155	3 VULNÉRABILITÉ	174
1 INTRODUCTION	156	3.1 INFRASTRUCTURE ET TRANSPORT	174
		3.1.1 ENVIRONNEMENT BÂTI	174
		3.1.2 SENTIERS SEMI-PERMANENTS	177
2 LA CÔTE NORD DU CANADA	156	3.2 SANTÉ ET BIEN-ÊTRE	178
2.1 COLLECTIVITÉS ET ÉCONOMIE	157	3.3 AFFAIRES ET ÉCONOMIE	181
2.2 ENVIRONNEMENT PHYSIQUE	158	3.4 CULTURE ET ÉDUCATION	182
2.2.1 CLIMAT	158	3.5 RÉCOLTE DE SUBSISTANCE	184
2.2.2 GÉOLOGIE ET GÉOMORPHOLOGIE	158		
2.2.3 PERGÉLISOL ET GLACE DE SOL	161		
2.2.4 GLACE DE MER	162		
2.2.5 VAGUES ET ONDES DE TEMPÊTE	162		
2.3 SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	165		
2.4 CHANGEMENTS DANS LES CONDITIONS ET LES PROCESSUS CÔTIERS	166	4 PLANIFICATION DE L'ADAPTATION DANS LE nORD	185
2.4.1 TEMPÉRATURE ET PRÉCIPITATIONS	166	4.1. ÉMERGENCE DE L'ADAPTATION	185
2.4.2 GLACE DE MER	166	4.2 SITUATION ACTUELLE DE LA PLANIFICATION DE L'ADAPTATION	189
2.4.3 INTENSITÉ DES TEMPÊTES	169	4.3 LACUNES DÉFINIES AU NIVEAU DES RECHERCHES SUR L'ADAPTATION	191
2.4.4 NIVEAU DE LA MER ET NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES	169	4.3.1 VULNÉRABILITÉ	191
2.4.5 PERGÉLISOL	171	4.3.2 ADAPTATION	191
2.5 OBSERVATIONS AUTOCHTONES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	171		
		5 RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	192
		6 RÉFÉRENCES	192

PRINCIPALES CONCLUSIONS

L'environnement et les caractéristiques socioéconomiques de la côte Nord sont uniques. Principalement habité par des populations autochtones vivant dans de petites collectivités éloignées, le littoral nordique du Canada est vaste, représentant plus de 70 % de tout le littoral canadien. La présence de glace de mer est une caractéristique distinctive de ce littoral et a une incidence sur l'accès au transport, façonne les processus géomorphologiques et offre une plate-forme pour des activités de récolte ayant une valeur culturelle et une importance économique. Les caractéristiques sociales, économiques et démographiques des collectivités du littoral nordique diffèrent considérablement de la moyenne canadienne, la mise en valeur des ressources et l'administration publique étant les piliers des économies nordiques.

La côte Nord est un point névralgique dans le contexte des changements climatiques à l'échelle mondiale. La région a connu l'un des changements climatiques les plus rapides du monde entier, et les changements climatiques futurs prévus pour le littoral nordique continueront d'être importants. Les répercussions sur l'environnement physique comprennent une diminution de la concentration de glace de mer, un dégagement hâtif et une prise des glaces tardive, un allongement de la saison d'eau libre exempte de glace, le réchauffement et le dégel du pergélisol, l'érosion côtière, l'élévation du niveau de la mer et des modifications du régime météorologique, y compris les vents et les vagues.

Les collectivités, les écosystèmes et les activités économiques du littoral nordique sont touchés par les impacts des changements climatiques. De nombreuses collectivités sont très sensibles aux impacts des changements climatiques, puisqu'elles sont situées sur des côtes de faible altitude et qu'elles ont des infrastructures bâties sur le pergélisol, des économies étroitement liées aux ressources naturelles et une dépendance à l'égard des activités de récolte terrestres. Les impacts négatifs des changements climatiques dans une variété de secteurs ont été bien documentés dans l'ensemble du littoral nordique. Les nouvelles possibilités associées à une plus longue saison de navigation en eau libre, exempte de glace, sont également reconnues, mais une circulation maritime accrue engendre également des risques.

Les changements climatiques aggraveront les vulnérabilités existantes. La vulnérabilité varie considérablement en fonction de la région et de la collectivité et, au sein des collectivités, en fonction du lieu géographique, de la nature des impacts des changements climatiques et des facteurs humains. La capacité de gérer les changements climatiques est élevée dans certains secteurs, comme la récolte de subsistance et la santé, mais est minée par des changements sociétaux à long terme. Dans d'autres secteurs, comme l'infrastructure, des limites à la capacité de gestion (p. ex. institutionnelle, financière et réglementaire) des risques climatiques engendrent de grandes vulnérabilités persistantes.

Les collectivités et les industries côtières nordiques s'adaptent. Des mesures d'adaptation ont déjà été mises en place dans le Nord, et on a documenté des exemples de planification de l'adaptation à tous les paliers de gouvernement. L'efficacité et l'exhaustivité des réactions existantes n'ont pas été évaluées, même si on a cerné des obstacles à l'adaptation, entre autres les ressources limitées, la capacité institutionnelle et le manque de recherches « utilisables ». Les renseignements accessibles au public sur la manière dont le secteur privé aborde l'adaptation sont limités.

Les mesures d'adaptation supplémentaires possibles sont variées. L'intégration de l'adaptation dans les initiatives et les priorités stratégiques courantes, afin d'aborder les facteurs déterminants socioculturels sous-jacents de la vulnérabilité, peut aider à aborder les risques posés par les changements climatiques au niveau des activités de récolte, de la culture et de la santé. Des mesures d'adaptation visant des risques climatiques particuliers sont également nécessaires, surtout pour gérer les impacts des changements climatiques sur les infrastructures communautaires et industrielles.

1 INTRODUCTION

Les côtes du nord du Canada sont confrontées à des changements climatiques considérables. Les modèles climatiques prévoient qu'elles seront sujettes à des changements climatiques parmi les plus marqués du monde (voir le chapitre 2; Anisimov et al., 2007; Prowse et Furgal, 2009; Larsen et al., 2014). Les changements dans les tendances des températures et des précipitations, dans les conditions de glace de mer et dans la saisonnalité sont bien documentés, tout comme leurs répercussions sur les modes de vie traditionnels, la santé, la souveraineté, la sécurité, la mise en valeur des ressources et les infrastructures (Furgal et Prowse, 2008; Prowse et Furgal, 2009; Ford et al., 2012b).

Une augmentation rapide du nombre de recherches mettant l'accent sur les aspects biophysiques et humains des changements climatiques sur les côtes nordiques s'est produite au cours de la dernière décennie, et beaucoup d'évaluations, d'examens des ouvrages publiés et d'analyses de carence ont été réalisés afin de se rendre compte du niveau de compréhension actuel. Ces rapports peuvent être groupés de la façon suivante :

- **Évaluations à l'échelle de l'Arctique entier :** Ces examens portent sur l'Arctique dans son ensemble, les renseignements sur les côtes nordiques du Canada se trouvant dans des chapitres spécifiques relatifs à ce sujet. Il s'agit, entre autres, de l'*Arctic Climate Impact Assessment* (Arctic Climate Impact Assessment, 2005), des rapports de l'Année polaire internationale (Kulkarni et al., 2012), du chapitre sur les « Régions polaires » des rapports d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Anisimov et al., 2007; Larsen et al., 2014), du rapport intitulé *Human Health in the Arctic* (AMAP, 2009), du rapport intitulé *State of the Arctic Coast 2010* (Forbes, 2011), du rapport portant sur l'*Évaluation de la navigation maritime dans l'Arctique 2009* (Conseil de l'Arctique, 2009), du premier *Rapport sur le développement du l'humain dans l'Arctique* (Rapport sur le développement du l'humain dans l'Arctique, 2004) et du deuxième *Rapport sur le développement du l'humain dans l'Arctique* (Larsen et al., 2015), de même que l'*Arctic Resilience Interim Report 2013* (Conseil de l'Arctique, 2013).
- **Évaluations pancanadiennes :** Ces examens visent à documenter l'état des connaissances sur les changements climatiques au Canada dans son ensemble, avec des chapitres spécifiques consacrés au Nord canadien. Cela comprend les chapitres sur le nord de *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* (Lemmen et al., 2008; Prowse et Furgal, 2009) et de *Santé et changements climatiques : évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada* (Seguin, 2008).
- **Examens axés sur le nord :** Ces examens et documents de synthèse mettent l'accent sur l'état des connaissances sur les changements climatiques dans le nord du Canada et comprennent *Putting the Human Face on Climate Change* (Nickels et al., 2006), l'*Étude internationale du plateau continental arctique canadien* (Fortier et al., 2008), les travaux utilisant des revues systématiques de la littérature mettant l'accent sur la région désignée des Inuvialuit (RDI) et l'est de

l'Arctique (Ford et Pearce, 2010; Bolton et al., 2011; Ford et al., 2012a, b, 2014a) de même que les rapports des Études d'impact régionales intégrées (EIRI) d'ArcticNet (Allard et Lemay, 2012).

- **Études sectorielles mettant l'accent sur le nord du Canada :**

Ces études approfondissent des sous-secteurs particuliers dans les régions nordiques, caractérisent le niveau de compréhension actuel au chapitre des impacts, de l'adaptation et de la vulnérabilité et cernent les priorités en matière de recherches futures, entre autres les évaluations portant sur la santé (Furgal et Seguin, 2006) et l'infrastructure bâtie (Ford et al., 2014c).

Ces examens complets permettent de comprendre de façon générale les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation liés aux changements climatiques dans le nord du Canada. Le présent chapitre complète et met à jour ces évaluations antérieures, en se concentrant particulièrement sur les régions côtières du Nord canadien et en mettant fortement l'accent sur les collectivités et les économies. Il aborde le contexte et les processus physiques qui rendent les collectivités et les milieux de la région de la côte Nord particulièrement sensibles aux changements climatiques, en mettant l'accent sur la réduction de la glace de mer, le dégel du pergélisol et l'élévation du niveau de la mer en tant que principaux moteurs du changement. La discussion des vulnérabilités actuelles et potentielles des secteurs socioéconomiques reflète l'accent mis dans les ouvrages disponibles sur l'environnement bâti (en particulier dans les collectivités éloignées et en rapport avec les transports), sur les économies de subsistance et les économies naissantes liées aux ressources, sur la santé, le bien-être et la culture de la collectivité ainsi que sur les moyens de subsistance traditionnels. Le chapitre se termine par des examens de la planification de l'adaptation dans la région de la côte Nord de même que des lacunes au niveau des connaissances susceptibles de limiter les mesures d'adaptation. Même si la côte Nord du Canada abrite des patrimoines culturels variés, y compris les Premières nations, les Inuits, les Métis et les non-Autochtones, le chapitre sur la côte Nord met fortement l'accent sur les Inuits, en raison du fait qu'ils sont plus souvent le sujet des ouvrages disponibles.

2 LA CÔTE NORD DU CANADA

Le littoral nordique du Canada est vaste, couvrant plus de 176 000 km du Yukon à l'ouest au Labrador à l'est, et englobe plus de 70 % de toutes les côtes canadiennes. Trois territoires (le Yukon, les Territoires du Nord-Ouest et le Nunavut) et quatre provinces (Manitoba, Ontario, Québec, Terre-Neuve-et-Labrador) ont des littoraux nordiques (figure 1), de même que des régions visées par un accord sur une revendication territoriale conclus avec des populations autochtones (Région désignée des Inuvialuit, Nunavik, Nunavut, Nunatsiavut, Convention de la Baie-James et du Nord québécois). La région de la côte Nord du Canada accueille 58 collectivités et plus de 70 000 personnes, dont la majorité est inuite, métisse ou des Premières Nations. Toutes les collectivités inuites du Canada, à l'exception de Baker Lake, au Nunavut, et de Kuujjuaq au Nunavik (Québec), sont situées sur la côte Nord.

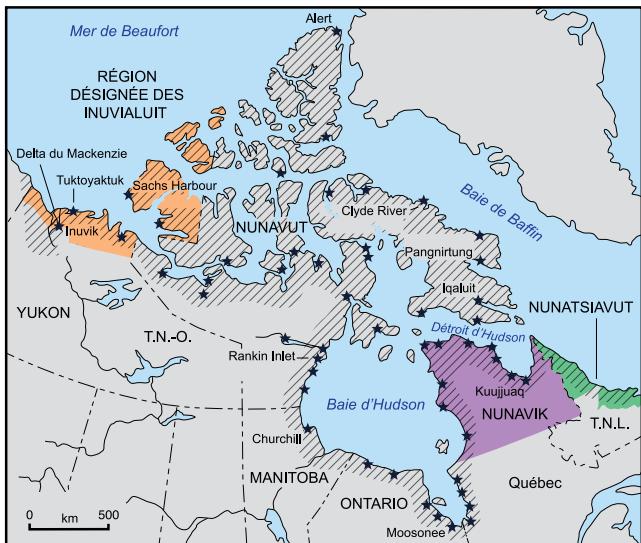


FIGURE 1 : Emplacement de la région de la côte Nord. Les collectivités sont illustrées par de petites étoiles. Abréviation : T.N.-O., Territoires du Nord-Ouest et T.-N.-L., Terre-Neuve-et-Labrador.

L'étendue et le climat de la côte Nord la différencient des côtes Ouest et Est du Canada, de même que la présence de glace de mer pendant une grande partie de l'année. Les collectivités bordant le littoral nord du Canada présentent des caractéristiques socioculturelles et démographiques et des économies distinctives, entre autres l'utilisation de la région côtière pour des activités de récolte ayant une valeur culturelle et une importance économique. Par conséquent, la « côte » dans le présent chapitre est définie comme un prolongement du trait de côte (l'interface entre la terre et l'eau) à la fois vers la terre et vers la mer de manière à inclure la glace de mer et l'eau libre, qui sont essentielles aux activités de déplacement et de récolte et donc à la durabilité et au bien-être des collectivités et des écosystèmes côtiers (voir le chapitre 1). Certaines collectivités mentionnées dans le présent chapitre se situent plus loin du littoral maritime, vers l'intérieur des terres (p. ex. Inuvik dans les Territoires Du Nord-Ouest, Kuujuaq au Québec) mais ont été incluses en raison de leurs solides liens avec l'environnement maritime du point de vue des activités culturelles, de la subsistance et du transport.

La présente section fournit des renseignements généraux sur les collectivités et l'environnement de la région de la côte Nord du Canada, en mettant l'accent sur leurs caractéristiques distinctives. On porte une attention particulière aux principaux attributs physiques de la zone côtière en climat froid. Les écosystèmes côtiers sont abordés dans le contexte des services écosystémiques et de la manière dont ils constituent un élément essentiel de la durabilité des économies de subsistance nordiques et du bien-être culturel. Cette section se termine par un exposé de la manière dont les changements climatiques provoquent des changements physiques le long de la côte Nord, en soulignant la variabilité régionale de l'ampleur des changements et de la sensibilité de l'environnement.

2.1 COLLECTIVITÉS ET ÉCONOMIE

La population de la côte Nord du Canada habite principalement dans de petites collectivités éloignées d'une taille variant entre 112 personnes à Sachs Harbour, dans les Territoires du Nord-Ouest, à 6 699 personnes à Iqaluit, au Nunavut (Statistique Canada, 2011). La plupart des collectivités sont accessibles par avion toute l'année et par bateau pendant la saison d'eau libre, et seules quelques collectivités (p. ex. Inuvik dans les Territoires du Nord-Ouest et Chisasibi au Québec) sont accessibles toutes l'année par la route. Churchill au Manitoba et Moosonee en Ontario sont les seules collectivités de la côte Nord dotées d'un accès ferroviaire. Le Port de Churchill exporte principalement du grain pendant la saison où l'eau est exempte de glace, entre juillet et novembre, et est la plus grosse installation portuaire de la côte Nord (Bristow et Gill, 2011). D'autres ports répondent aux besoins locaux et régionaux associés à l'approvisionnement des collectivités et des industries nordiques.

Les économies des collectivités de la région de la côte Nord englobent une combinaison d'emplois rémunérés et de chasse, de pêche et de trappage de subsistance, soit une combinaison caractéristique de ce que certains ont appelé une économie de type « mixte » (Gombay, 2005; Wenzel, 2013). Les deux composantes sont interdépendantes dans la vie contemporaine des collectivités côtières nordiques, au point où Gombay (2005, 2007) affirme que la distinction entre les deux économies s'estompe de plus en plus. Ainsi, la capacité d'entreprendre des activités de récolte dépend de l'accès à des ressources financières pour acheter l'équipement et le carburant nécessaires à la chasse et à la pêche. De même, la capacité des personnes qui occupent un emploi rémunéré d'accéder à des aliments traditionnels ayant une valeur culturelle dépend le leur accès à des réseaux de partage. Des réseaux de partage complexes dans lesquels on échange des aliments (p. ex., les fruits de la chasse et de la pêche) et d'autres ressources (p. ex. des ressources financières) se sont créés dans les collectivités côtières contemporaines, sous l'influence des pratiques d'échange historiques, même s'il s'avère qu'ils subissent des pressions croissantes (p. ex. Gombay, 2005, 2007; Collings, 2011; Harder et Wenzel, 2012; Wenzel, 2013).

L'économie rémunérée des collectivités côtières nordiques repose en grande partie sur l'administration publique, l'extraction des ressources et l'artisanat, le tourisme étant également important dans certaines régions. Les emplois rémunérés sont proportionnellement plus importants et plus développés dans les plus grosses collectivités, comme Inuvik, Iqaluit, Kuujuaq et Rankin Inlet, qui servent de porte d'entrée aux régions dans lesquelles elles sont situées (Furgal et Prowse, 2008; Inuit Tapiriit Kanatami, sans date; Poppel *et al.*, 2015).

La mise en valeur des ressources, sous forme d'exploitation minière et d'exploration pétrolière et gazière, constitue environ le quart du PIB des trois territoires nordiques, par comparaison avec 8 % pour le Canada dans son ensemble (Agence canadienne de développement économique du Nord, 2014). Les activités minières ont pris une expansion considérable au cours de la dernière décennie dans l'est de l'Arctique côtier, avec la mise en valeur de nouvelles mines de différentes tailles et de différents types, soit des mines d'or, de nickel, de plomb, de zinc, de fer, d'uranium, de

cuivre, d'argent, de platine, de palladium et de cobalt. Le Nunavut compte actuellement deux mines en exploitation, avec d'autres mines à l'étape de la mise en valeur et d'importantes activités d'exploration en cours (Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, 2015a, b). L'ouest de l'Arctique côtier recèle des réserves extracotières potentielles pouvant atteindre 150 mille milliards de pieds cubes de gaz naturel et plus de 15 milliards de barils de pétrole (Government of the Northwest Territories, 2015). De nombreux projets d'infrastructure associés à la mise en valeur des ressources ont été annoncés pour la côte Nord ces dernières années, y compris la construction de la route toutes saisons de 140 km entre Inuvik et Tuktoyaktuk, dont l'achèvement est prévu en 2018, de même que des investissements dans l'infrastructure portuaire du Nord.

L'administration publique est un employeur majeur dans les trois territoires nordiques, comptant pour 18 % du PIB (par comparaison avec 7 % à l'échelle du Canada; Agence canadienne de développement économique du Nord, 2014) et 23 % (12 300 postes) de l'ensemble de la population active (Emploi et Développement social Canada, 2014a, b). En 2011, les traitements et salaires liés au secteur public totalisaient plus de 800 millions de dollars dans les Territoires du Nord-Ouest et 500 millions de dollars au Nunavut (Statistique Canada, 2011). Ensemble, la mise en valeur des ressources et l'administration publique comptent pour plus de 40 % du PIB dans le Nord canadien (Agence canadienne de développement économique du Nord, 2014).

Plusieurs collectivités côtières nordiques conservent un lien étroit avec l'environnement, les aliments traditionnels tirés de la chasse, de la pêche et du trappage revêtant une grande importance sociale, économique et alimentaire. Dans l'ouvrage intitulé *Survey of Living Conditions in the Arctic* (enquête sur les conditions de vie dans l'Arctique), par exemple, on a établi que la majorité (74 %) des répondants du nord du Canada tirent la moitié ou plus de leur viande et de leur poisson de sources traditionnelles (Poppel et al., 2015). Les aliments traditionnels sont très partagés à l'intérieur des collectivités aussi bien qu'entre elles, et ils sous-tendent les cultures autochtones dans tout le Nord (Kuhnlein et al., 2001; Chan et al., 2006; Kuhnlein et Receveur, 2007), la capacité d'entreprendre ces activités variant en fonction de facteurs comme les conditions météorologiques, les conditions de glace, la santé animale et le comportement migratoire. Outre la dépendance des régions nordiques à l'égard d'itinéraires de transport sensibles au climat, les cultures d'alimentation traditionnelle rendent les collectivités côtières nordiques plus sensibles aux conditions environnementales changeantes (Furgal et Seguin, 2006; Ford et al., 2010c) que les collectivités dans le sud du pays.

Les caractéristiques sociales et démographiques des collectivités côtières nordiques diffèrent elles aussi considérablement de la moyenne canadienne. Le chômage est un problème chronique dans beaucoup de régions, dépassant 50 % dans certaines communautés, la participation au marché du travail étant également plus faible que dans le reste du Canada (Inuit Tapiriit Kanatami, 2008; Nunavut Tunngavik Incorporated, 2014). Même si le revenu médian des ménages dans certaines régions est supérieur à la moyenne canadienne, le coût de la vie est considérablement plus élevé. Par exemple, les aliments dans les collectivités inuites coûtent en général au moins le double de la moyenne

canadienne (Egeland et al., 2010; Huet et al., 2012). Le Nunavut a le plus haut taux de fertilité au Canada, avec près de trois enfants par femme comparé à une moyenne nationale de 1,6 enfant par femme, et des taux supérieurs à la moyenne sont également documentés ailleurs dans le Nord (Nunavut Tunngavik Incorporated, 2010, 2012; Larsen et al., 2015). En conséquence, la population du nord est plus jeune que celle du Canada dans son ensemble, l'âge moyen des Inuits étant de 21 ans au Nunavut et au Nunavik et de 26 ans dans la région désignée des Inuvialuits (Statistique Canada, 2013). Les collectivités côtières nordiques doivent composer avec les défis que représentent un accès limité aux services de santé, des logements surchargés et de mauvaise qualité, des préoccupations quant à la qualité de l'eau potable et à l'hygiène, des niveaux élevés d'insécurité alimentaire et un faible niveau d'instruction (Chatwood et Young, 2010; Knotsch et Kinnon, 2011; Young et Chatwood, 2011; Chatwood et al., 2012). Plusieurs de ces défis reflètent les changements socioculturels profonds qui ont balayé le Nord pendant la seconde moitié du vingtième siècle, y compris la réinstallation de peuples auparavant semi-nomades dans des collectivités permanentes, les pensionnats, le développement de l'économie rémunérée et la migration en provenance du sud du Canada (Damas, 2002; Cameron, 2012; Wenzel, 2013).

2.2 ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

2.2.1 CLIMAT

L'océan Arctique couvert de glace est la clef de voûte du système climatique arctique (Melling et al., 2012). La région de la côte Nord du Canada est caractérisée par des hivers longs et froids entrecoupés d'été courts et frais. Les précipitations y sont faibles et se produisent surtout en été. La présence de glace de mer pendant une grande partie de l'année réduit considérablement l'influence modératrice de l'océan. Cela se traduit par des températures extrêmement froides en hiver et par un refroidissement local le long de la côte en été.

La variabilité annuelle de la température est beaucoup plus grande dans la région de la côte Nord que sur les autres côtes du Canada. Pendant une grande partie de l'année, le courant-jet tend à être au sud de la plupart des côtes nordiques et la région est généralement dominée par des masses d'air froid en hiver. Des événements épisodiques d'advection d'air chaud en hiver peuvent apporter de la pluie verglaçante, du brouillard et des conditions de fonte, ce qui pose des problèmes pour le transport et les collectivités. Ces événements d'advection d'air chaud se manifestent plus fréquemment depuis quelques années (Wang, 2006), phénomène que l'on associe à la plus grande variabilité du courant-jet (Francis et Vavrus, 2012). Les parties ouest et nord de l'Arctique canadien reçoivent peu de précipitations (<300 mm par an) et sont sujettes à relativement peu de tempêtes. Au contraire, l'est de l'Arctique, en particulier le Labrador, le Nunavik et l'île de Baffin, reçoit beaucoup plus de précipitations annuelles (jusqu'à 1000 mm) découlant de tempêtes plus fréquentes se déplaçant le long de la trajectoire de tempête de la baie de Baffin (voir le chapitre 2).

2.2.2 GÉOLOGIE ET GÉOMORPHOLOGIE

La côte Nord est caractérisée par une grande variété d'environnements, décrits dans des études réalisées à l'échelle régionale (p.

ex. Owens, 1994; Shaw *et al.*, 1998; Forbes et Hansom, 2012) et dans des études mettant l'accent sur les conditions côtières dans des collectivités particulières (p. ex. Hatcher *et al.*, 2011; Forbes *et al.*, 2014; Smith et Forbes, 2014; Hatcher et Forbes, sous presse). Un élément de contrôle important des processus côtiers est la géologie, puisque quelque 62 % des côtes nordiques sont constituées de matériaux non lithifiés qui sont plus sensibles aux processus d'érosion et de sédimentation associés à la dynamique côtière que les côtes constituées de roche en place plus résistante (figure 2). Un autre élément de contrôle important, abordé en détail au chapitre 2, est le changement du niveau relatif de la mer. Les ajustements isostatiques glaciaires ont entraîné une chute du niveau relatif de la mer dans de nombreuses régions depuis plusieurs milliers d'années. La baie d'Hudson et certaines parties du centre de l'archipel Arctique canadien (AAC) ont connu le plus important soulèvement postglaciaire de la croûte terrestre au Canada. On retrouve à des élévations pouvant atteindre 200 m des terrasses de plage soulevées, des deltas perchés et des terrasses maritimes qui indiquent les niveaux antérieurs de la mer. Là où le relief est bas, ces indices peuvent se trouver à des dizaines, voire des centaines de kilomètres à l'intérieur des terres.

Dans l'est de l'Arctique côtier, les fjords aux falaises abruptes creusées dans de la roche en place résistante caractérisent la morphologie côtière (Syvitski *et al.*, 1987). On trouve des zones intertidales parsemées de rochers dans certaines zones macrotidales au sud de l'île de Baffin, comme à Iqaluit et Pangnirtung, et autour de la baie d'Ungava (p. ex. Lauriol et Gray, 1980; McCann *et al.*, 1981; Forbes et Hansom, 2012). Des glaciers s'avancent jusqu'au trait de côte sur de nombreuses îles, alors que les plate-formes de glace flottante ne se trouvent que dans le nord de l'île d'Ellesmere (encadré 1). En raison du fait que les côtes de roche en place sont très résistantes, les taux d'érosion ne sont que de l'ordre de quelques millimètres par an (p. ex. Allard et Tremblay, 1983). Dans les régions où l'avant-pays est constitué de sédiments non lithifiés, l'érosion peut être de l'ordre de 0,3 à 0,5 m/an, et des taux pouvant

atteindre 0,3 à 0,5 m/jour ont été enregistrés sur l'île Bylot, au Nunavut, lors d'un phénomène de tempête extrême (Taylor, 1980).

Les côtes nord-ouest des îles de la Reine-Élisabeth (IRE) que bordent l'océan Arctique sont généralement plus basses et se sont formées dans des roches sédimentaires faiblement lithifiées (figure 2). Cette région microtidale présente peu d'eau libre, ce qui limite la dynamique côtière, et la modification du littoral est en majeure partie attribuable à l'action de la glace de mer (p. ex. Forbes et Taylor, 1994). Les côtes intérieures des IRE présentent une géologie et une topographie variables, mais ont en commun un milieu où l'énergie des vagues est faible en raison de la présence prolongée d'une couverture de glace. Plus au sud, autour des îles Melville et Bathurst, la saison d'eau libre tend à être plus longue, ce qui accroît l'influence de l'action des vagues sur les plages de gravier et de sable, mais des signes de poussée glaciaire sont également évidents. Les plages de gravier des détroits de Jones et Lancaster sont modifiées pendant les tempêtes, mais les changements à long terme sont minimes (Shaw *et al.*, 1998; St-Hilaire-Gravel *et al.*, 2012). Le continent et la partie sud de l'AAC connaissent une chute du niveau relatif de la mer. Le relief d'ensemble est généralement bas et les côtes de roche en place sont largement répandues, quoique l'est de l'île Banks présente de nombreuses microfalaises non consolidées. Les plages et les flèches de gravier et de sable sont également communes.

Le long de la mer de Beaufort dans l'ouest de l'Arctique canadien, le littoral est constitué de matériaux non lithifiés (figure 2) généralement riches en glace de sol. Une grande partie de la côte est constituée de microfalaises basses avec des cordons littoraux, des îles barrières et des flèches de faible élévation. Le delta du Mackenzie, le deuxième plus grand delta du monde, fait environ 120 km de largeur au front de delta. Plus de 40 000 lacs ponctuent la surface basse du delta (Emmerton *et al.*, 2007), qui agit aussi à titre d'important territoire de reproduction et de rassemblement pour les oiseaux. La plaine extérieure du delta est inondée par le fleuve au printemps et par les ondes de tempête en été et à l'automne (Marsh et Schmidt, 1993). La teneur extrêmement élevée en glace de sol entraîne un taux d'érosion élevé le long de la côte de la mer de Beaufort, dont la moyenne s'établit entre 0,5 et 1,5 m/an (Harper, 1990; Konopczak *et al.*, 2014) et qui peut atteindre jusqu'à 22,5 m/an (Solomon, 2005). Il y a également érosion dans certaines parties du front de delta, malgré le fait que le fleuve Mackenzie soit la plus importante source de sédiments se déversant dans l'océan Arctique (Rachold *et al.*, 2000). La fonte printanière débute dans la partie sud du bassin hydrographique du fleuve Mackenzie plus tôt qu'à l'embouchure du fleuve; par conséquent, la glace de mer est toujours présente lorsque le courant d'eau douce arrive à la côte. L'eau de fonte déborde sur la glace, puis se draine par les fissures et les trous dans la glace, produisant ainsi des affouillements sur le plancher océanique, qui peuvent avoir des dizaines de mètres de diamètre et plus de 4 m de profondeur (Solomon *et al.*, 2008). Cet affouillement présente un grand danger pour l'infrastructure littorale en raison de son potentiel de perturbation du plancher océanique et des sédiments sous-marins.

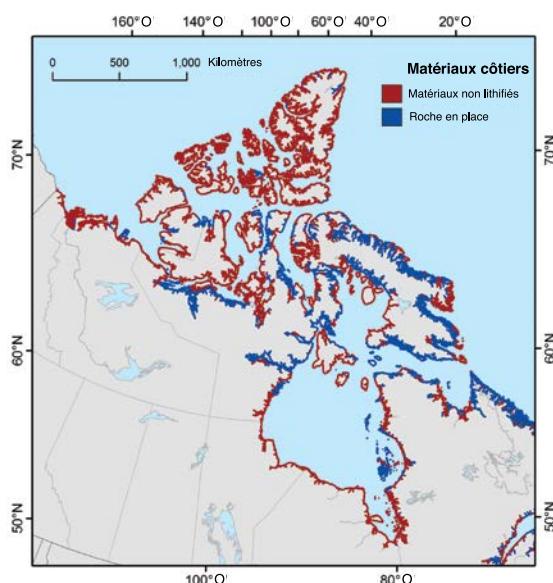


FIGURE 2 : Variabilité des matériaux côtiers dans la région de la côte Nord (tiré de Couture et Manson, 2016).

ENCADRÉ 1

GLACIERS DE MARÉE ET PLATE-FORMES DE GLACE FLOTTANTE

Les glaciers qui se terminent dans l'océan (glaciers de marée) sont fort répandus dans certains fjords de l'est et du nord de l'Arctique canadien, là où la topographie élevée et les forts taux de chute de neige entretiennent des calottes glaciaires qui se drainent dans la mer (figure 3). L'écoulement de glace des glaciers dans l'océan depuis les îles de la Reine-Élisabeth est actuellement d'environ 2,6 milliards de tonnes par an, ce qui équivaut à 7,5 % de l'écoulement pan-arctique provenant de tous les glaciers et de toutes les calottes glaciaires à l'extérieur du Groenland (Van Wychen *et al.*, 2014). Par comparaison, les glaciers de l'île de Baffin et de l'île Bylot n'écoulent qu'environ 0,25 milliard de tonnes par an de glace dans l'océan (Gardner *et al.*, 2011).

Les glaciers de marée, provenant du vêlage d'icebergs, peuvent être responsables d'une partie importante de la perte de volume de glace de glacier dans le cas de certaines calottes glaciaires du Haut-Arctique canadien, comme la calotte glaciaire de Devon, où ils représentent entre 30 et 40 % des pertes totales (Burgess *et al.*, 2005; Williamson *et al.*, 2008). Des travaux récents ont également indiqué qu'environ la moitié des icebergs rejetés dans l'océan dans l'Arctique canadien sont issus du complexe glaciaire Trinity-Wykeham, qui s'écoule du champ de glace Prince of Wales de l'est de l'île d'Ellesmere (Van Wychen *et al.*, 2014). Cela signifie que des changements s'opérant au niveau du vêlage de quelques glaciers seulement peuvent avoir un impact impressionnant sur le vêlage total d'icebergs de cette région. Il est donc essentiel de comprendre la réaction actuelle et future des glaciers de marée à un climat qui se réchauffe, de même que les répercussions sur les taux de production d'icebergs, afin d'être en mesure de prévoir à la fois les changements dans la cryosphère et les changements dans les risques posés par les icebergs pour le transport maritime. De récentes études dans l'Arctique canadien ont établi qu'il existe un rapport solide entre la production accrue d'icebergs et l'enlèvement des contreforts de glace de mer du front des glaciers de marée, alors que l'influence des marées et de la température de l'air s'avère de faible importance (Herdes *et al.*, 2012).

Une autre caractéristique distinctive de la côte de l'Arctique canadien est les plate-formes de glace flottante du nord de l'île d'Ellesmere (figure 3). Ces masses de glace varient en épaisseur d'environ 30 à 100 m et sont formées d'une combinaison de glace de mer très ancienne maintenant fixée au rivage, de l'apport des glaciers et de l'accumulation locale de neige. Au début du XX^e siècle, elles couvraient une superficie de plus de 9 000 km² et formaient un tout continu couvrant tout le nord de l'île d'Ellesmere, mais aujourd'hui, elles se limitent à quelques fjords protégés et couvrent une superficie totale de quelque 500 km² (Copland *et al.*, sous presse). Même si elles ne constituent qu'une très petite composante du littoral arctique,

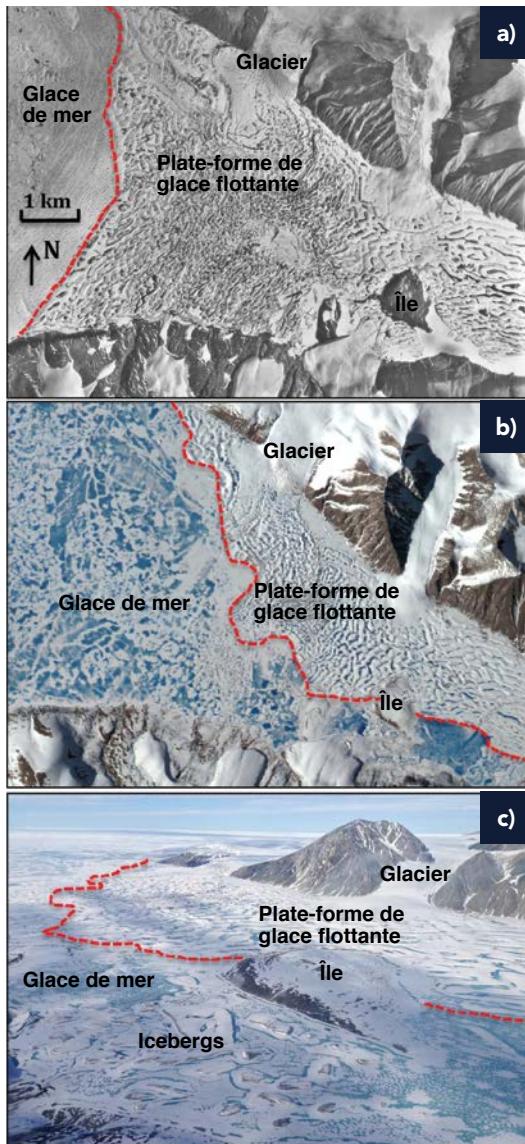


FIGURE 3 : Changements survenus dans l'étendue de la plate-forme de glace flottante Petersen, dans l'île d'Ellesmere, entre **a)** une photographie aérienne prise le 13 août 1959 (photo A16724-63), **b)** des images du satellite ASTER captées les 7 et 11 juillet 2014 et **c)** une photographie oblique du 13 juillet 2014. Le pointillé rouge indique la frontière entre la plate-forme de glace flottante et la glace de mer. La superficie de la plate-forme de glace flottante était de 48,40 km² en 1959 et de 19,32 km² en 2012 (White *et al.*, 2015; la superficie a peu changé depuis 2012). Les images montrent également un exemple de glacier de marée (marqué « glacier ») qui s'écoule sur la plate-forme de glace flottante le long de sa bordure septentrionale. Figure gracieuseté de L. Copland.

ces masses de glace uniques dans l'hémisphère nord sont rapidement en voie de disparition en raison de l'augmentation rapide des températures de l'air et de l'accroissement des étendues d'eau libre, qui les rendent vulnérables à la dislocation (figure 3; Copland *et al.*, 2007; White *et al.*, 2015). Depuis 2005, trois des six plate-formes de glace flottante se sont complètement disloquées et la superficie totale des plate-formes de glace flottante a été réduite de près de la moitié (Copland *et al.*, 2007; Mueller *et al.*, 2008; White *et al.*, 2015).

La baie James et la baie d'Hudson sont des régions aux côtes généralement basses mais variables qui connaissent toutes une chute rapide du niveau relatif de la mer. Le long de l'ouest de la baie d'Hudson, la côte est rocheuse (figure 2) et présente de larges zones intertidales alors que la côte est présente des plages et des zones intertidales étroites (Shaw *et al.*, 1998). Dans le sud-ouest de la baie d'Hudson et l'ouest de la baie James, les côtes estuariennes plates et mal drainées ponctuées de large marais constituent des sites importants pour la faune (Martini *et al.*, 1980). La baie d'Hudson se caractérise par la présence de vagues déferlantes alors que la baie James est plus protégée. Les côtes entourant la baie d'Ungava sont pour la plupart basses et rocheuses, alors que les côtes rocheuses à relief élevé prédominent sur les bords du détroit d'Hudson.

2.2.3 PERGÉLISOL ET GLACE DE SOL

Le pergélisol, un sol gelé en permanence, constitue l'assise de pratiquement toutes les côtes septentrionales du Canada. Il peut être continu ou discontinu, ou apparaître seulement par endroits. L'épaisseur du pergélisol peut varier de quelques dizaines de mètres, dans les parties les plus au sud de la zone de pergélisol, à plusieurs centaines de mètres. Une mince couche de surface (couche active), qui recouvre le pergélisol, dégèle en été et regèle en hiver. La couche active peut aller de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres d'épaisseur, en fonction de facteurs comme la température à la surface du sol, le type de sol, l'humidité du sol, la végétation et le manteau neigeux. La répartition et l'épaisseur du pergélisol reflètent l'historique climatique et glaciaire à long terme d'une région. Dans certaines parties de l'ouest de l'Arctique, le pergélisol qui s'est formé au cours de la dernière glaciation, alors que le niveau de la mer était beaucoup plus bas (Mackay, 1972), subsiste sous forme de pergélisol sous-marin dans la zone sublittorale et sur le plateau de la mer de Beaufort (Taylor *et al.*, 1996). Le pergélisol sous-marin aide à produire un environnement favorable à la formation de gisements peu profonds de méthane hydraté, une source d'énergie potentielle (O'Connor *et al.*, 2010). Ce pergélisol sous-marin scelle également le méthane dans les sédiments du plancher océanique, empêchant ainsi son rejet dans la colonne d'eau et éventuellement dans l'atmosphère, où il agit comme puissant gaz à effet de serre (Ruppel, 2011).

Le pergélisol contient habituellement de la glace dans les pores du sol, en couches minces ou en gros amas distincts de glace massive pouvant mesurer jusqu'à 30 m d'épaisseur et se prolonger sur des centaines de mètres (p. ex. Rampton, 1982; Harry *et al.*, 1988; Pollard, 2000). On trouve la glace de sol le plus souvent dans les sols à granulométrie fine et les sols organiques riches en limon et en argile; elle est plus rare dans les matériaux plus grossiers composés de sable et de gravier. On trouve souvent des lits de glace massive à l'interface entre deux couches de sédiments, lorsqu'une couche de sédiments fins recouvre une couche de sédiments plus grossiers (Mackay, 1972). Les matériaux côtiers contiennent des quantités variables de glace de sol, soit une quantité négligeable dans la roche en place à plus de 20 % par volume dans certains matériaux non lithifiés (figure 4). Dans des cas extrêmes, jusqu'à 70 % d'une section de côte peuvent être constitués de glace de sol (French *et al.*, 1986). La glace de sol lie le pergélisol et lui confère sa force, mais le sol devient moins stable

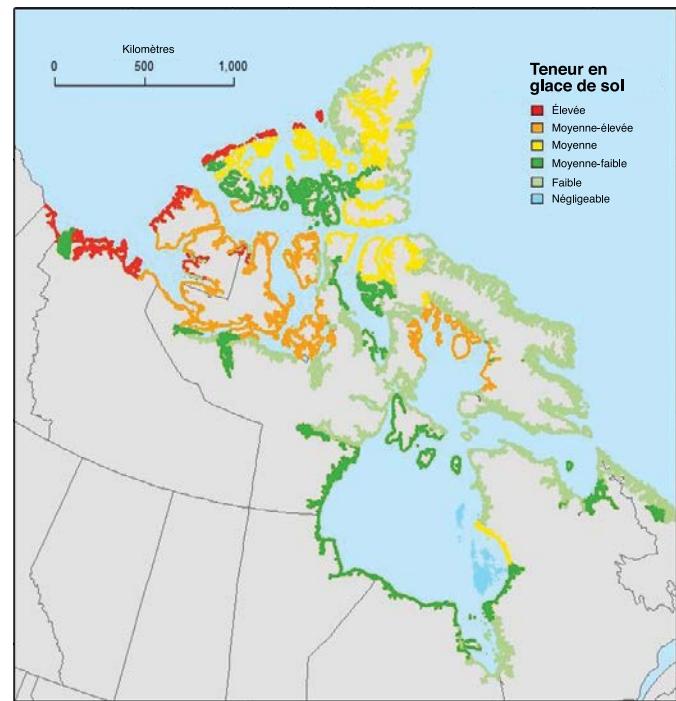


FIGURE 4 : Quantités de glace de sol dans la région de la côte Nord (Couture et Manson, 2016), d'après des données de Ressources naturelles Canada (1995). Une teneur élevée en glace de sol est supérieure à 20 % par volume, une teneur moyenne se situe d'entre 10 et 20 % et une teneur faible est inférieure à 10 %.

Si y a excès de glace de sol, le dégel réduit le volume du sol, ce qui entraîne une subsidence et un compactage. Ces réactions au dégel aggravent les dangers côtiers et les taux d'érosion locaux en facilitant l'enlèvement des sédiments par l'action des vagues et en accroissant la susceptibilité aux inondations.

Dans les régions de pergélisol, l'érosion côtière est à la fois un processus mécanique et thermique (Aré, 1988; Wolfe *et al.*, 1998). L'érosion thermique se produit au-dessus de la ligne normale des eaux lorsque les niveaux d'eau plus élevés associés aux ondes de tempête et aux vagues font dégeler le pergélisol. Elle se produit également sous la ligne des eaux lorsque les matériaux dégelés à l'interface entre l'eau et les sédiments sont enlevés mécaniquement par les vagues, les courants ou l'affouillement par la glace, laissant ainsi les sédiments gelés sous-jacents exposés et sujets à la dégradation.

L'érosion côtière dans les régions de pergélisol découle de plusieurs mécanismes. Le glissement régressif dû au dégel est souvent constaté le long des pentes côtières non lithifiées et se produit lorsque de la glace de sol massive est exposée par l'action des vagues (figure 5). La masse de glace dégèle rapidement et le mur de rimaye se retire. Les sédiments contenus dans la glace massive ou dans le recouvrement s'accumulent à la base du glissement ou forment une boue qui s'écoule le long de la pente vers la plage où elle est facilement emportée par l'eau. Le recul du mur de rimaye de poursuit jusqu'à ce que la masse de glace ait complètement fondu ou qu'une quantité suffisante de sédiments s'accumule à la base du glissement de façon à ce que la glace se trouve isolée et protégée contre tout autre dégel. Par la suite,



FIGURE 5 : Photographie aérienne d'un glissement régressif dû au dégel le long de la côte de la mer de Beaufort, au Yukon, produit par le dégel de sédiments à haute teneur en glace. Photo gracieuseté de N.J. Couture.

l'action continue des vagues peut exposer à nouveau la glace, lançant un nouveau cycle de glissement régressif.

Un autre mécanisme commun de recul du littoral est la rupture en blocs. Cela se produit en raison de la présence de coins de glace qui se forment lorsque le sol se contracte et se fissure au cours d'hivers particulièrement froids. Le printemps suivant, l'eau de surface s'écoule lentement par la fissure dans le pergélisol, où elle gèle et prend de l'expansion, formant une mince veine de glace. Cette veine devient un plan de faiblesse du sol, de sorte que toute fissure supplémentaire tend à se produire au même endroit. Au fil du temps, ces veines s'accumulent pour former des coins de glace pouvant mesurer plusieurs mètres de largeur et de profondeur (figure 6). Lorsque les vagues attaquent une falaise au cours d'une tempête, elles érodent un creux horizontal à sa base. Lorsque le creux atteint une profondeur suffisante, le poids du bloc de sédiments qui le surplombe le fait s'écrouler, en suivant généralement le plan d'un coin de glace (Walker, 1988). Les ruptures en blocs se manifestent de façon épisodique, étant fonction de l'activité orageuse, du niveau de l'eau et d'autres facteurs physiques (Hoque et Pollard, 2009; Barnhart et al., 2014).

Le dégel du pergélisol sous-marin riche en glace peut mener à une intensification de l'érosion le long des côtes pergélisolées. La perte de volume attribuable à la dégradation de la glace de sol entraîne la subsidence du plancher océanique, ce qui accentue la pente de la zone sublittorale et permet à des vagues plus grosses d'atteindre la grève, en particulier lors des tempêtes (p. ex. Nairn et al., 1998; Wolfe et al., 1998).

2.2.4 GLACE DE MER

La glace de mer est l'une des caractéristiques les plus distinctives des côtes nordiques du Canada (voir le chapitre 2; Forbes et Taylor, 1994; Forbes et Hansom, 2012). En hiver, lorsque la couverture de glace de mer est essentiellement complète, la glace protège la côte en réprimant l'action des vagues (Wadhams et al., 1988; Squire, 2007). Elle fournit également un itinéraire de transport entre les collectivités et un moyen d'accéder aux zones de chasse et de pêche (Aporta, 2002, 2009; Aporta et al., 2011). Pendant la saison d'eau libre, l'absence de glace de mer rend



FIGURE 6 : Photographie aérienne d'une érosion par rupture en blocs le long de la côte de la mer de Beaufort, au Yukon. Il est à remarquer que la rupture se produit le long de coins de glace qui délimitent les polygones de toundra. Photo gracieuseté de N.J. Couture.

le littoral et l'infrastructure côtière vulnérables à l'érosion et à l'inondation par les vagues et les ondes de tempête (p. ex. Forbes et Taylor, 1994; Kobayashi et al., 1999). Lorsque la glace de mer est en mouvement, en particulier lors du dégagement et de l'enlacement alors que les concentrations de glace sont moindres, le vent et les courants peuvent provoquer la collision des floes et la création de crêtes de pression qui peuvent, à leur tour, labourer le plancher océanique (Rearic et al., 1990; Shapiro et Barnes, 1991). La glace de mer peut également accroître l'affouillement hydrodynamique du plancher océanique (Forbes et Taylor, 1994), s'empiler ou être poussée sur le rivage (Kovacs, 1983), propulser des sédiments vers la terre ou les entraîner et les transporter vers le large (p. ex. Reimnitz et al., 1990; Eicken et al., 2005).

La durée et l'étendue de la couverture de glace de mer dans le nord du Canada varie et dépend en grande partie du climat régional et de la latitude. Pour la période de 1981 à 2010, le dégagement commençait sérieusement au début de juin (figure 7a) et se poursuivait jusqu'à la fin d'août dans certaines parties du bassin Foxe et de l'AAC. La glace de mer est pérenne dans certains chenaux de l'archipel et au large de la côte de la mer de Beaufort, et son étendue atteint son minimum au début de septembre. L'engagement automnal débute entre la fin de septembre et le début de décembre (figure 7b). Il s'agit toutefois de moyennes à long terme et le dégagement se produit maintenant plus tôt alors que l'engagement est retardé (section 2.4.2), ce qui entraîne une plus longue saison de fonte (Howell et al., 2009; Stroeve et al., 2014).

2.2.5 VAGUES ET ONDES DE TEMPÈTE

Une grande partie du recul côtier dans l'Arctique est attribuable aux hautes vagues et aux ondes de tempête (Solomon et al., 1994). Les taux d'érosion sont déterminés par l'énergie des vagues, par la composition et la morphologie des caractéristiques côtières et par la présence de glace de mer (p. ex. Héquette et Barnes, 1990; Dallimore et al., 1996; Barnhart et al., 2014), et ils peuvent en outre être jusqu'à huit fois plus élevés que dans les régions plus tempérées (Reimnitz et al., 1988).

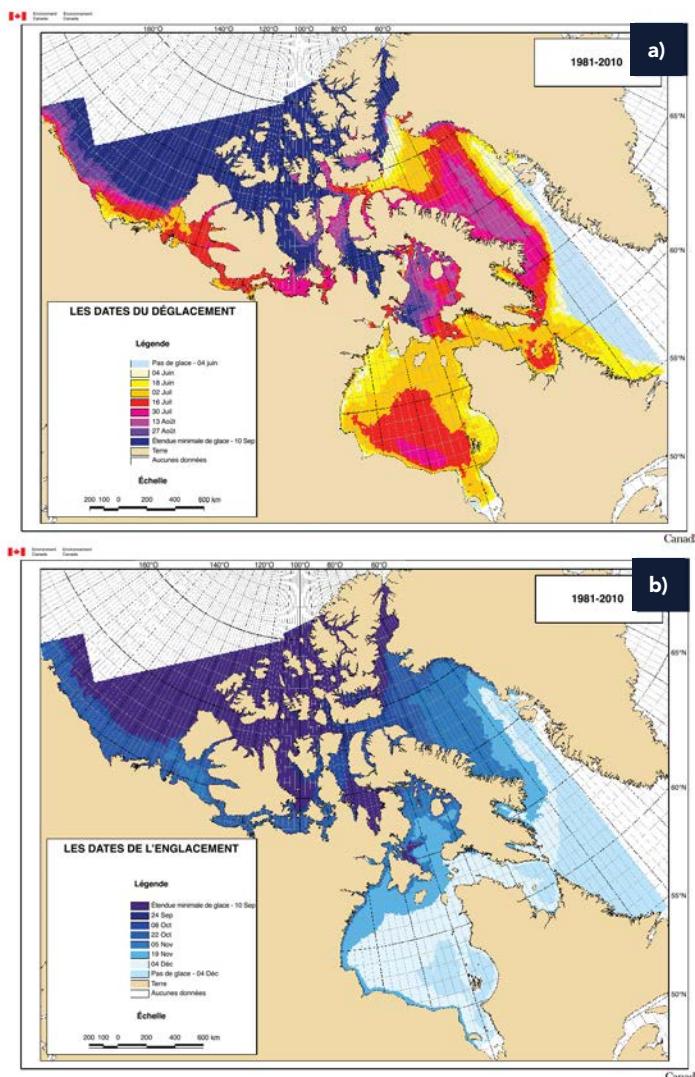


FIGURE 7 : Atlas climatique des glaces pour la période s'étendant de 1981 à 2010 (tiré d'Environnement Canada, sans date), illustrant l'étendue de la glace de mer pendant les périodes **a)** de déglacement et **b)** d'englacement.

L'étendue et la durée de la glace de mer exercent un contrôle considérable sur le comportement des vagues. Il s'agit d'une des principales caractéristiques distinguant le régime dynamique côtier de la région de la côte Nord du Canada de ceux des régions des côtes Est et Ouest. L'énergie et la hauteur des vagues dans la mer de Beaufort augmentent en proportion directe du fetch (étendue d'eau libre; Thomson et Rogers, 2014). La baie de Baffin présente le plus grand fetch potentiel de l'est de l'Arctique, mais a une saison d'eau libre de moins de 130 jours (Shaw et al., 1998). Certaines régions, comme certaines parties du nord de l'AAC, ont un fetch limité pendant toute l'année et l'action des vagues s'y donc moins sentir (Forbes et Taylor, 1994; Shaw et al., 1998). Le long de la côte de la mer de Beaufort, le fetch peut atteindre plusieurs centaines de kilomètres en septembre lorsque la couverture de glace est à son minimum.

La figure 8 (Atkinson, 2005) montre les climatologies de tempête dans la mer de Beaufort et l'AAC pour la période s'étendant de 1950 à 2000. Dans la région de Beaufort, le nombre

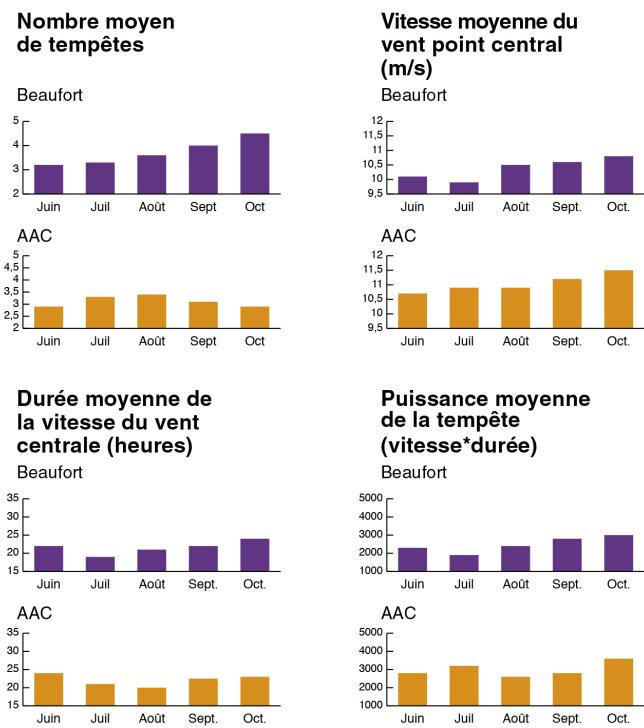


FIGURE 8 : Statistiques sur les tempêtes pour la période de s'étendant de 1950 à 2000 (tiré d'Atkinson, 2005), en fonction des données des stations terrestres établies sur la côte de la mer de Beaufort et les périphéries extérieures de l'AAC, soit : **a)** le nombre moyen de tempêtes par mois par secteur, **b)** la vitesse moyenne du vent autour d'un point central (50^o centile supérieure de toutes les vitesses du vent), **c)** la durée moyenne de la vitesse du vent autour d'un point central et **d)** la puissance moyenne de la tempête, qui est un paramètre dérivé conçu afin de donner une indication grossière de la puissance totale que peut atteindre une tempête. Abréviation : AAC, archipel Arctique canadien.

croissant de tempêtes coïncide avec l'augmentation de la durée et du fetch d'eau libre, et la puissance des tempêtes atteint son paroxysme en automne, alors que l'étendue de la couverture de glace de mer est à son minimum. Dans l'AAC, le nombre total de tempêtes est plus faible et le mois d'août est le plus orageux, alors que les vents de tempêtes atteignent leur degré de vitesse et de puissance le plus élevé. Le nombre de tempêtes chute à l'automne et la glace de mer revient. Une analyse de la climatologie de tempête couvrant la période de 2003 à 2009 à Resolute, au Nunavut, dans la région centrale de l'AAC, a permis d'établir que seulement 35 % des tempêtes avaient le potentiel de produire des vagues sur la côte (St-Hilaire-Gravel et al., 2012). Pour la période s'étendant de 1962 à 1993, les tempêtes sur la mer de Beaufort présentaient des vagues d'une hauteur considérable variant de 2,4 à 4,3 m, et étaient presque toujours associées à des vents du nord et du nord-ouest (Manson et Solomon, 2007). L'énergie des vagues sublittorales produites par les tempêtes ne dépend pas uniquement de la longueur du fetch mais également de l'orientation du littoral, de la direction du vent et de la bathymétrie de l'avant-plage, de sorte que la même tempête peut avoir des impacts différents sur des parties de la côte que seuls quelques kilomètres séparent (Hoque et al., 2009).

Le profil bathymétrique en eaux peu profondes du plateau longeant la côte de la mer de Beaufort (figure 9) contribue à ce

que de fortes ondes de tempête s'y produisent (figure 10), plusieurs sites ayant enregistré des ondes de plus de 2 m (Forbes et Fobel, 1985; Harper et al., 1988). Dans le delta peu élevé du Mackenzie, l'impact des ondes peut se faire sentir loin à l'intérieur des terres (étude de cas 1). Les ondes de tempête qui se produisent pendant les périodes de pleine couverture de glace (documentées en 1974 et en 2005) peuvent ne pas contribuer immédiatement à l'érosion côtière mais peuvent altérer la morphologie sublittorale sous-marine par la création de crêtes de pression, la poussée des glaces ou l'affouillement par les glaces, lesquels ont pour conséquence le recul de la côte.

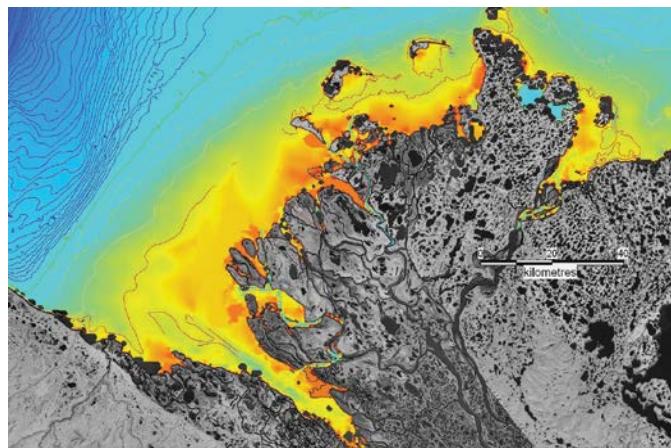


FIGURE 9 : Faible pente côtière du plateau de la mer de Beaufort le long du delta du Mackenzie. L'isobathe de 2 m est indiquée en rouge (tiré de la commission géologique du Canada, 2016).



FIGURE 10 : Inondation à Simpson Point, dans l'île Herschel au Yukon, après qu'une onde de tempête se soit produite en août 2010. Photo gracieuseté de W. Pollard.

ÉTUDE DE CAS 1

IMPACTS DE L'ONDE DE TEMPÊTE DE 1999 DANS LE DELTA DU MACKENZIE

Le long des côtes septentrionales, le déclin rapide de la couverture de glace de mer rend les écosystèmes terrestres de faible élévation particulièrement vulnérables aux inondations côtières qui modifieront la composition et la structure de la végétation de même que la productivité terrestre. L'examen des impacts dans la région du delta du Mackenzie de l'onde de tempête majeure ayant eu lieu en septembre 1999 donne un aperçu des conséquences d'une vaste inondation côtière. Des vents violents soutenus pendant une période de 36 heures ont propagé une onde qui a complètement inondé la plupart des surfaces terrestres de la partie extérieure du delta du Mackenzie pendant plusieurs jours (Kokelj et al., 2012). L'onde de tempête a propulsé l'eau de mer jusqu'à 30 km à l'intérieur des terres à partir de la côte, ce qui a eu pour conséquence d'augmenter les niveaux de chlorure dans le sol et d'entraîner le dépérissement de plus de 30 000 ha de toundra arbustive peuplée de buissons et d'arbrisseaux et de terres humides peuplées de carex (Kokelj et al., 2012; Lantz et al., 2015). Des carottes de sédiments recueillies dans des lacs touchés par l'onde ont révélé des assemblages de diatomées où la présence de taxons d'eau saumâtre prédominait pour la première fois en 1 000 ans (Pisaric et al., 2011). Des sources de données indépendantes, y compris des entrevues avec des chasseurs avertis, semblent indiquer qu'il s'agissait probablement de la plus grosse onde de tempête du dernier millénaire (Kokelj et al., 2012).

La surveillance constante de la partie extérieure du delta révèle que les sols et la végétation se rétablissent, et que le taux auquel se poursuit ce rétablissement est fonction du type de terrain. Les zones basses qui sont plus régulièrement inondées au printemps font preuve d'un rétablissement considérable après une décennie, mais les surfaces élevées qui ne sont que rarement touchées par la crue printanière n'ont montré que peu ou pas de signes de rétablissement (Lantz et al., 2015).

Les impacts des tempêtes dépendent également de l'amplitude de marée, qui varie considérablement dans la région de la côte Nord, allant de <0,5 à >13 m (figure 11). Si une onde de tempête coïncide avec une marée haute, l'inondation et l'érosion seront plus importantes peu importe l'amplitude de marée. Dans un régime microtidal, le moment où se produit une onde de tempête n'a aucune importance — elle provoquera toujours une inondation. Par conséquent, les milieux microtidaux sont plus sensibles aux ondes de tempête que les milieux macrotidiaux (voir les chapitres 2 et 4). Les tempêtes nordiques peuvent en outre se déplacer plus lentement que celles du sud du Canada, prolongeant ainsi la durée d'exposition aux vagues et aux ondes destructrices.

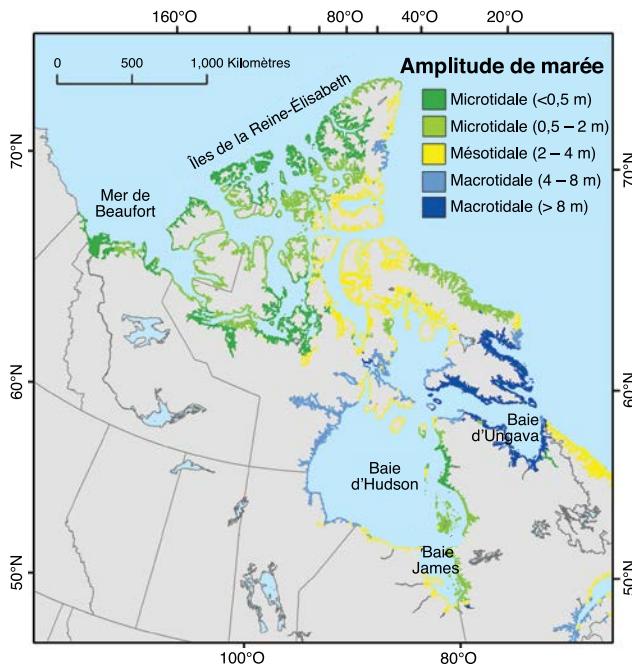


FIGURE 11 : Variabilité de l'amplitude des marées dans l'ensemble de la région de la côte Nord (tiré de Couture et Manson, 2016). Les marées varient entre <0,5 m le long de la mer de Beaufort et >13 m dans la baie d'Ungava.

2.3 SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Les milieux côtiers nordiques du Canada offrent une variété de services écosystémiques représentant les quatre catégories (encadré 2) cernées par l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Les services d'approvisionnement sont extrêmement importants pour les populations autochtones de la région de la côte Nord puisqu'ils entretiennent les activités de subsistance, économiques et récréatives (Huntington, 2013). L'aspect le plus important est peut-être la nourriture tirée des activités de récolte exécutées le long de la côte, à partir de bateaux ou directement sur la glace de mer (Berkes, 1990; Évaluation des impacts sur le climat de l'Arctique, 2005). Les communautés autochtones de la côte Nord récoltent un éventail varié d'espèces arctiques, y compris des oiseaux nicheurs, des poissons et des mammifères marins côtiers. Par exemple, les Inuits, Dénés/Métis et Cris récoltent des oiseaux côtiers comme l'oie des neiges, la bernache du Canada, l'eider et le lagopède, des poissons comme l'omble chevalier, le cisco, la morue et le flétan noir, des organismes benthiques comme les palourdes et les moules, de même que des mammifères marins comme le phoque annelé, le phoque du Groenland, le béluga, la baleine boréale, le morse, le narval et l'ours polaire (Berkes et Farkas, 1978; Receveur et al., 1997; Delormier et Kuhnlein, 1999; Priest et Usher, 2004). Les espèces récoltées varient selon les saisons et les collectivités en fonction de la migration de la faune, de l'aire de répartition de l'espèce, de la santé des populations sauvages et de l'accessibilité.

ENCADRÉ 2 CATÉGORIES DE SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Services d'approvisionnement : biens directs que les humains tirent de la nature, comme les aliments et l'eau.

Services culturels : avantages non matériels qui permettent de maintenir des modes de vie, y compris les loisirs et l'expérience spirituelle.

Services de régulation : avantages associés aux capacités de régulation des écosystèmes, comme la régulation climatique et hydrologique.

Services de soutien : processus écosystémiques, comme la photosynthèse et le cycle des nutriments, qui soutiennent la prestation des autres catégories de services écosystémiques.

Les services culturels fournis par les écosystèmes côtiers nordiques sont la pierre angulaire du bien-être et de la survie culturelle des Autochtones (Nuttall, 1998; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Parlee et al., 2005; Huntington, 2013; Cunsolo Wilcox et al., 2013a, 2015). Par exemple, les Cris estiment que leur propre santé physique, spirituelle et mentale dépend de la santé de « la terre » (Adelson, 2000). Les services culturels peuvent être aussi bien intangibles, comme l'expérience spirituelle, que tangibles, comme les loisirs et le tourisme. Le tourisme à titre de service culturel devient de plus en plus important dans le nord du Canada et comprend cinq marchés : le tourisme de masse (p. ex. navires de croisière), la pêche et la chasse sportives, le tourisme en nature, le tourisme d'aventure et les expériences culturelles et patrimoniales (Snyder, 2007; Huntington, 2013). Certaines destinations côtières nordiques acquièrent une réputation nationale et internationale, comme le Nunavut et le Nunavik pour la pêche et la chasse sportives (Twynam et Johnston, 2002; Lemelin et al., 2012) et Churchill, au Manitoba, pour l'observation des ours polaires (Stirling, 2012) et des bélugas. Le Passage du Nord-Ouest est également devenu une destination de choix pour les navires de croisière et accuse une augmentation de 70 % du nombre de passages au cours des dernières années (Stewart et al., 2011). Pour les communautés autochtones, le tourisme représente une source de revenu supplémentaire et un moyen de faire la promotion de leur terre et de leur culture (Robbins, 2007).

Les services de régulation et de soutien offerts par les écosystèmes nordiques du Canada profitent aux gens à des échelles spatiales très variées. À l'échelle mondiale, l'océan Arctique, y compris les mers marginales et les biomes terrestres nordiques, fait fonction de régulateur du climat au moyen de divers mécanismes biophysiques (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Par exemple, la production d'eau océanique froide et dense dans l'Arctique est un important régulateur de la circulation thermohaline mondiale, comme le démontre le récent affaiblissement de la circulation méridienne de retour de l'Atlantique (Rahmstorf et al., 2015). La réduction de la couverture de glace de mer associée à l'augmentation des températures de l'air et de la surface

de l'eau pourrait également renforcer la séquestration du carbone en raison d'une augmentation de la production primaire (Schneider von Deimling *et al.*, 2012). Les régions côtières de l'Arctique canadien font déjà preuve d'une augmentation des taux de production primaire en conséquence du recul de la glace de mer (Tremblay *et al.*, 2012). À l'échelle régionale, les régions côtières sont des habitats essentiels pour de nombreuses espèces arctiques parce que les apports de carbone terrestre de sources côtières et riveraines qu'elles reçoivent jouent un rôle important au niveau du réseau alimentaire restreint de l'Arctique (Dunton *et al.*, 2006).

En elle-même, la glace de mer est une composante structurale des écosystèmes marins de l'Arctique qui fournit d'importants services de régulation et de soutien (Eicken *et al.*, 2009; Euskirchen *et al.*, 2013). À l'échelle mondiale, l'albédo élevé de la glace de mer a un effet refroidissant sur le climat de la Terre. À l'échelle régionale, la glace de mer peut réduire l'érosion côtière en atténuant l'action des vagues (section 2.2.4; Jones *et al.*, 2009). Une réduction au niveau de ce service pourrait avoir des conséquences dramatiques pour les collectivités côtières de l'Arctique canadien. Les taux d'érosion élevés attribuables à la perte de glace de mer dans l'Arctique ont déjà entraîné le déménagement de certaines collectivités le long de la côte la plus septentrionale de l'Alaska, ce qui a eu pour conséquence d'importants impacts socioéconomiques (Lovecraft et Eicken, 2011). En outre, la glace de mer fait fonction de service de soutien en fournissant un habitat essentiel à des espèces marines importantes et emblématiques de l'Arctique

qui sont essentielles aux modes de vie traditionnels des communautés autochtones de la région de la côte Nord du Canada (Gradinger et Bluhm, 2004; Blix, 2005; Darnis *et al.*, 2012).

2.4 CHANGEMENTS DANS LES CONDITIONS ET LES PROCESSUS CÔTIERS

2.4.1 TEMPÉRATURE ET PRÉCIPITATIONS

Aucune analyse régionale des tendances en matière de température et de précipitations restreinte aux sites côtiers n'est disponible pour le nord du Canada. Toutefois, le district du Mackenzie dans l'ouest de l'Arctique s'est réchauffé de 2,6 °C pendant la période de 1948 à 2014 (tableau 1). Ce taux de réchauffement est supérieur de plus de 50 % à celui observé pour l'ensemble du Canada pendant la même période (Environnement Canada, 2015) et représente l'un des taux de réchauffement les plus élevés du monde entier. L'ensemble des côtes nordiques du Canada repose dans des régions climatiques dont le réchauffement est supérieur à la moyenne canadienne. Il y a eu une augmentation des précipitations annuelles pour la période de 1950 à 2010 dans pratiquement tous les sites côtiers nordiques (un site de la baie James affiche une diminution qui n'est pas statistiquement significative), de même qu'une augmentation du rapport neige-pluie (Mekis et Vincent, 2011a, b).

TABLEAU 1 : Tendances annuelles en matière de température et extrêmes en matière de température et de précipitations pendant la période s'étendant de 1948 à 2014 pour les régions climatiques couvrant la majorité de la région de la côte Nord du Canada. Il est à remarquer que les données visent la région entière en question, non pas seulement les sites côtiers. La tendance en matière de température est au réchauffement (°C) pendant la période de 67 ans. Source : Environnement Canada (2015). Abréviations : mtgnes, montagnes; temp., températures.

Région	Tendance des temp.	Année la plus froide	Écart (°C)	Année la plus chaude	Écart (°C)	Année la plus sèche	Écart (%)	Année la plus humide	Écart (%)
Mtgnes du nord de la C.-B. et Yukon	2,3	1972	-2	1981	2,4	1950	-27,2	1991	20,2
District du Mackenzie	2,6	1972	-1,6	1998	3,3	1954	-23,7	1974	21,7
Toundra arctique	2,0	1972	-2,5	2010	4,4	1954	-32	2005	28,7
Mtgnes et fjords de l'Arctique	1,6	1972	-2,4	2010	4,5	1948	-38,5	2013	59
Canada	1,6	1972	-2	2010	3	1956	-12,2	2005	15,6

On prévoit que le réchauffement de la région de la côte Nord se poursuivra dans tous les scénarios de changements climatiques, l'ampleur du réchauffement dépendant fortement du scénario d'émissions utilisé (voir le chapitre 2). À pratiquement tous les sites, on prévoit que le réchauffement sera plus fort en hiver et plus faible en été. Dans le cadre du scénario à émissions élevées (RCP8.5), une augmentation de la température supérieure à 8 °C est prévue pendant l'hiver pour la période de 2070 à 2100 (par rapport aux valeurs moyennes enregistrées entre 1961 et 1990; Bush *et al.*, 2014). De même, on prévoit que les précipitations augmenteront

peu importe le scénario utilisé, et que les augmentations les plus fortes produiront à l'automne et en hiver. Des augmentations des précipitations hivernales supérieures à 25 % sont prévues pour certaines parties de l'est et du centre de l'Arctique d'ici l'an 2050 (Bush *et al.*, 2014).

2.4.2 GLACE DE MER

L'étendue moyenne mensuelle en septembre de la glace de mer arctique diminue au rythme de 13,3 % par décennie, alors que l'étendue en mars diminue au rythme de 2,6 % par décennie

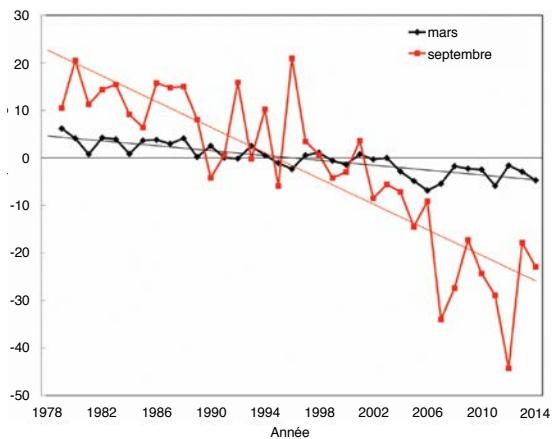


FIGURE 12 : Anomalies dans l'étendue de la glace de mer arctique (par rapport aux valeurs moyennes pour la période s'étendant de 1981 à 2010) pour le mois d'étendue maximale de la glace (mars, indiqué par une ligne noire) et le mois d'étendue minimale de la glace (septembre, indiqué par une ligne rouge). Source : Perovich *et al.* (2014).

(figure 12; Perovich *et al.*, 2014). On constate des diminutions pour tous les mois de l'année, mais les diminutions sont plus marquées ont lieu en septembre (Serreze *et al.*, 2007). Dans l'Arctique canadien, le taux de perte varie de 2,9 % par décennie dans l'AAC (même si certaines régions de l'AAC ont des taux beaucoup plus élevés) à 10,4 % par décennie dans la baie d'Hudson (tableau 2). On s'attend à ce que ces tendances se maintiennent ou accélèrent (Dumas *et al.*, 2006; Holland *et al.*, 2006; GIEC, 2013), certains modèles prévoyant une perte presque complète de la couverture de glace estivale avant le milieu du siècle (p. ex. Wang et Overland, 2012). La présence de la glace pluriannuelle diminue elle aussi (tableau 2; Maslanik *et al.*, 2007, 2011). Dans l'ensemble, la glace de mer arctique s'amincit; l'épaisseur moyenne de la glace printanière était de 2,4 m en 2008 (Kwok *et al.*, 2009), mais on prévoit une épaisseur moyenne de seulement 1,4 m d'ici 2050 (Stroeve *et al.*, 2012).

TABLEAU 2 : Tendances en matière de glace de mer totale et de glace pluriannuelle, exprimées en pourcentage par décennie. Les valeurs avec [†] sont statistiquement significatives au niveau de confiance de 95 % ou plus élevé. Abréviations : AAC, archipel arctique canadien; N/D, non disponible; sept., septembre.

Région	Région à l'intérieur*	Sous-région*	Période d'enregistrement	Paramètre rapporté	Tendance en glace de mer	Tendance en glace pluriannuelle	Source
Arctique	–	–	1979-2010	Étendue de la glace de mer en sept.	-12,4	N/A	Stroeve <i>et al.</i> (2012)
Arctique	–	–	1979-2014	Étendue de la glace de mer en sept.	-13,3	N/A	Perovich <i>et al.</i> (2014)
Canada	Baie d'Hudson	–	1968-2008	Couverture estivale moyenne de glace de mer	-10,4 [†]	N/A	Tivy <i>et al.</i> (2011)
Canada	Baie de Baffin	–	1968-2008	Couverture estivale moyenne de glace de mer	-8,9 [†]	10,7	Tivy <i>et al.</i> (2011)
Canada	Beaufort	–	1968-2008	Couverture estivale moyenne de glace de mer	-5,2 [†]	-4,6	Tivy <i>et al.</i> (2011)
Canada	AAC	–	1968-2008	Couverture estivale moyenne de glace de mer	-2,9 [†]	-4,1	Tivy <i>et al.</i> (2011)
Canada	AAC	–	1979-2008	Superficie de la glace de mer en sept.	-8,7 [†]	-6,4	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Îles de la Reine-Élisabeth	1979-2008	Superficie de la glace de mer en sept.	-2,5	-2,4	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Ouest du chenal Parry	1979-2008	Superficie de la glace de mer en sept.	-8,2	-0,8	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Est du chenal Parry	1979-2008	Superficie de la glace de mer en sept.	-15,4	-7,0	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Détroit de M'Clintock	1979-2008	Superficie de la glace de mer en sept.	-10,0	-11,0	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Franklin	1979-2008	Superficie de la glace de mer en sept.	-17,5	-24,4 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Passages de Baffin	1979-2008	Superficie de la glace de mer en sept.	-20,5 [†]	-25,8 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Voie maritime de l'Arctique occidental	1979-2008	Superficie de la glace de mer en sept.	-24,9	-7,9	Howell <i>et al.</i> (2009)

* Zones et sous-zones de régime de glaces (Service canadien des glaces, 2007).

En conséquence de ce déclin de la couverture de glace de mer, la saison d'eau libre s'est prolongée au rythme moyen de cinq jours par décennie à l'échelle de l'Arctique depuis 1979 (Stroeve *et al.*, 2014). Dans le nord du Canada, la période d'eau libre se prolonge de 3,2 à 12 jours par décennie (tableau 3), ce qui donne lieu, dans certains cas, à des saisons de fonte plus longues de plus d'un mois qu'elles ne l'étaient auparavant. Dans certaines régions, le changement est le plus marqué pendant l'engelacement automnal (figure 13). À Resolute Bay, au Nunavut, la saison de la fonte s'est prolongée de près de 30 jours sur une période de 30 ans, principalement en raison d'un retard dans

l'engelacement (St-Hilaire-Gravel *et al.*, 2012). La diminution de l'étendue de la glace de mer signifie que le fetch augmente dans plusieurs régions côtières, ce qui se traduit par des vagues plus grosses et plus puissantes atteignant la côte (Overeem *et al.*, 2011; Lintern *et al.*, 2013). Cela entraîne à son tour une augmentation du taux d'érosion et du nombre d'inondations (p. ex. Solomon *et al.*, 1994; Manson et Solomon, 2007; Barnhart *et al.*, 2014). Il est également important de remarquer que la plus grande augmentation du fetch se produit généralement en septembre, qui est souvent aussi la période la plus orageuse de l'année (section 2.2.5; Atkinson, 2005; Manson *et al.*, 2005).

TABLEAU 3 : Tendances relatives au début de la fonte et à l'engelacement, de même qu'à la durée de la saison de la fonte, exprimées en jours par décennie. Les chiffres avec [†] sont statistiquement significatifs au niveau de confiance de 95 % ou plus élevé. Abréviation : AAC, archipel Arctique canadien.

Région	Région à l'intérieur*	Sous-région*	Période d'enregistrement	Tendance de fonte	Tendance d'engelacement	Durée de la fonte	Source
Arctique	–	–	1979-2013	-2,1 [†]	3,0 [†]	5 [†]	Stroeve <i>et al.</i> (2014)
Canada	Baie d'Hudson	–	1979-2013	-3,1 [†]	3,4 [†]	6,5 [†]	Stroeve <i>et al.</i> (2014)
Canada	Baie de Baffin	–	1979-2013	-4,6 [†]	1,3	5,9 [†]	Stroeve <i>et al.</i> (2014)
Canada	Beaufort	–	1979-2013	-2,7 [†]	6,5 [†]	9,2 [†]	Stroeve <i>et al.</i> (2014)
Canada	AAC	–	1979-2013	-1,0	2,2 [†]	3,2 [†]	Stroeve <i>et al.</i> (2014)
Canada	AAC	–	1979-2008	-3,1 [†]	3,9 [†]	7 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Îles de la Reine-Élisabeth	1979-2008	-3,7 [†]	2,9	5,6 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Ouest du chenal Parry	1979-2008	-3,6 [†]	3,0	6,5 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Est du chenal Parry	1979-2008	-5,1	5,5	10,6 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Détroit de M'Clintock	1979-2008	-3,4	4,4 [†]	7,7 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Franklin	1979-2008	-3,2	6,3 [†]	9,5 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Passages de Baffin	1979-2008	-4,7 [†]	7,3 [†]	12,0 [†]	Howell <i>et al.</i> (2009)
Canada	–	Voie maritime de l'Arctique occidental	1979-2008	-1,2	2,6	3,8	Howell <i>et al.</i> (2009)

* Zones et sous-zones de régime des glaces (Service canadien des glaces, 2007).

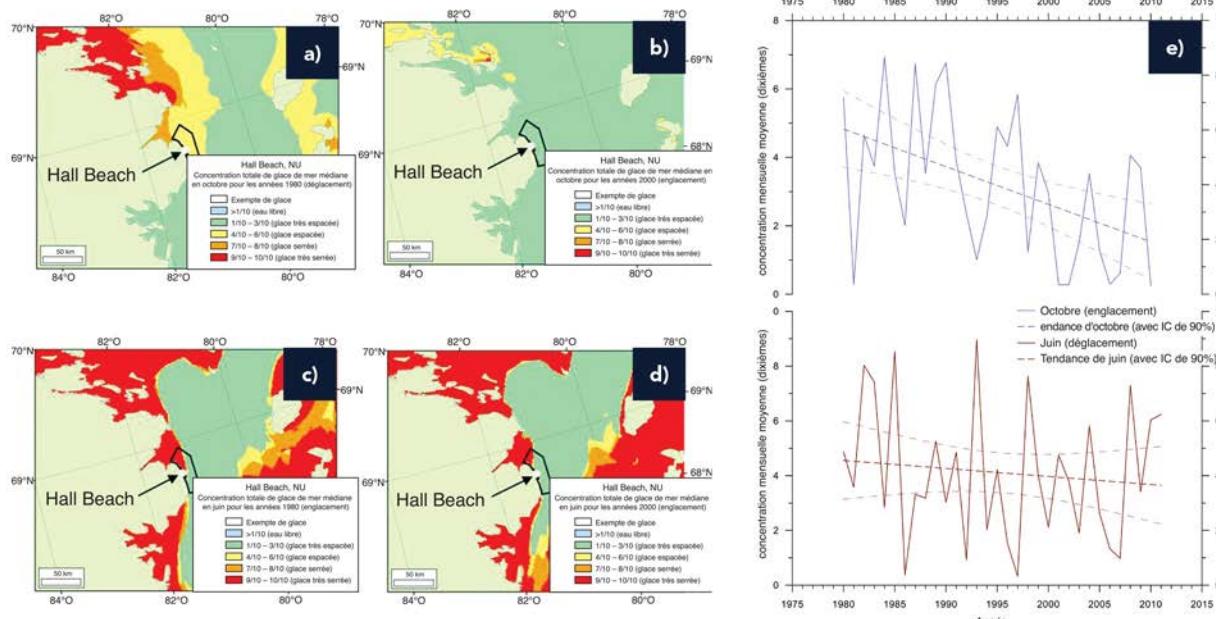


FIGURE 13 : Changements dans les concentrations de glace de mer à Hall Beach, au Nunavut, au moment de l'engelacement (octobre) et du dégellement (juin). **a)** concentrations médiennes de glace en octobre pour la décennie des années 1980, **b)** concentrations médiennes de glace en octobre pour la décennie des années 2000, **c)** concentrations médiennes de glace en juin pour la décennie des années 1980, **d)** concentrations décennales médiennes de glace en juin pour la décennie des années 2000, **e)** changement dans la concentration pendant la période d'enregistrement pour octobre (en bleu) et juin (en rouge).

2.4.3 INTENSITÉ DES TEMPÈTES

Il y a de solides indices que la fréquence et l'intensité des tempêtes dans l'Arctique augmentent (Évaluation des impacts sur le climat de l'Arctique, 2005; Manson et Solomon, 2007; GIEC, 2013; Akperov *et al.*, 2014). La corrélation positive entre la quantité d'eau libre et l'intensité des cyclones dans l'Arctique semble indiquer que les tempêtes augmenteront probablement en importance et en intensité à mesure que la glace de mer continuera de diminuer (Simmonds et Keay, 2009; Perrie *et al.*, 2012). Les conséquences de tempêtes plus intenses sur les côtes seront plus importantes dans les zones présentant un fetch considérable, comme la mer de Beaufort (Lintern *et al.*, 2013), et seront moins importantes dans les zones de fetch plus restreint, comme les chenaux des îles de la Reine-Élisabeth. La fréquence et l'intensité des ondes de tempête continueront elles aussi, probablement, d'augmenter le long des zones côtières vulnérables et peu profondes. Les données historiques sédimentaires récueillies dans les lacs de la partie extérieure du delta du Mackenzie font état 1) d'une importante corrélation entre l'augmentation de la température de l'air et l'occurrence et la gravité des ondes de tempête, et 2) du fait que l'activité des ondes correspond étroitement aux tendances observées relatives à l'étendue de la glace de mer (Vermaire *et al.*, 2013).

2.4.4 NIVEAU DE LA MER ET NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES

Les changements constatés dans le niveau de la mer varient considérablement dans la région de la côte Nord. Les observations au marégraphe sur une période d'environ 50 ans indiquent que le niveau de la mer s'est élevé de 2,4 mm/an à Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest, et a diminué de 1,5 mm/an à Alert, au Nunavut (voir le chapitre 2, figure 19). En revanche, le niveau de la mer à Churchill, au Manitoba, a chuté au rythme beaucoup plus rapide de 9,3 mm/an au cours des 75 dernières années. Les différences dans le changement constaté du niveau de la mer sont en grande partie attribuables à des différences dans le taux de déplacement vertical des terres et sont principalement le produit du processus d'ajustement isostatique glaciaire (voir le chapitre 2).

Comme pour les changements du niveau relatif de la mer constatés au cours des dernières décennies, les changements du niveau relatif de la mer prévus dans la région de la côte Nord (figure 14) diffèrent d'un endroit à l'autre et diffèrent des prévisions de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale (voir le chapitre 2). Les facteurs qui ont une influence sur les changements prévus du niveau relatif de la mer comprennent, en plus des ajustements isostatiques glaciaires, les changements océanographiques dynamiques de même que les réactions gravimétriques et crustales aux changements actuels dans la masse glaciaire, qui ont pour effet de réduire le taux de changement prévu du niveau de la mer dans l'ensemble de l'Arctique (voir le chapitre 2; James *et al.*, 2014). Dans le delta du Mackenzie, le compactage des sédiments contribue également à la subsidence des terres (Forbes, 2011).

Là où les terres se soulèvent rapidement, on prévoit que le niveau de la mer continuera de chuter, même aux termes d'un scénario à émissions élevées (figure 14), les prévisions pour certains endroits faisant état d'une chute de plus de 80 cm du niveau de la

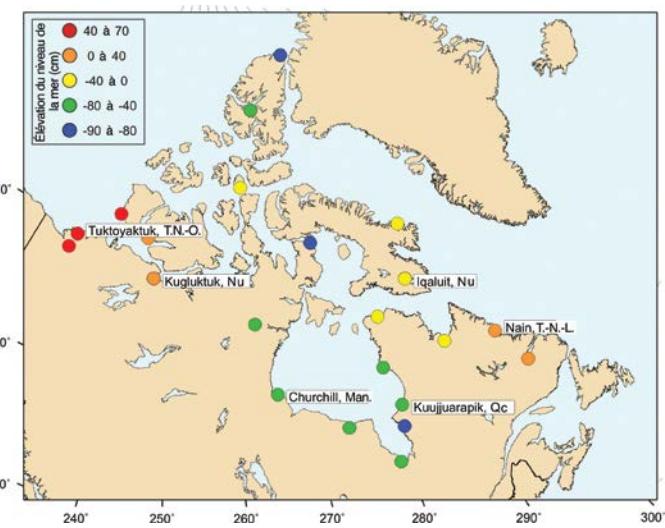


FIGURE 14 : Changement moyen prévu du niveau relatif de la mer en 2100 en fonction du scénario à émissions élevées (RCP8.5; tiré de James *et al.*, 2014, 2015). Les six lieux indiqués correspondent à ceux de la Figure 15, et les changements prévus pour tous les sites sont présentés à l'annexe A. Voir le chapitre 2 pour obtenir une description des scénarios et des méthodes.

mer d'ici 2100. Par contre, là où les terres s'enfoncent lentement, on prévoit que le niveau de la mer s'élèvera de plus de 40 cm d'ici 2100. La figure 15 présente les changements prévus du niveau relatif de la mer au cours du XXI^e siècle dans six collectivités de la région de la côte Nord. Les taux de soulèvement actuels dans ces collectivités varient de 14 mm/an à Kuujjuarapik, au Québec, à -1 mm/an à Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest. Le taux de soulèvement de Kuujjuarapik est si élevé que la collectivité ne devrait pas connaître d'élévation du niveau de la mer, même en fonction du pire scénario de changement du niveau de la mer envisagé (émissions élevées plus réduction de l'inlandsis de l'Antarctique, qui incorpore une contribution supplémentaire à l'élévation du niveau de la mer provenant de l'Antarctique occidental). En revanche, Tuktoyaktuk, qui s'enfonce, pourrait connaître une élévation du niveau de la mer de 140 cm en vertu du même scénario d'ici 2100 (figure 15).

Une conséquence importante de l'élévation du niveau de la mer est l'augmentation correspondante des phénomènes de niveaux d'eau extrêmes (voir les chapitres 2 et 3). À Tuktoyaktuk, on prévoit que l'élévation du niveau de la mer fera passer la fréquence des phénomènes de niveaux d'eau extrêmes (2,2 m plus haut que les données des tableaux) de un aux 25 ans à environ un à tous les quatre ans d'ici 2100. Autrement dit, la hauteur d'un événement décennal devrait augmenter de 1,1 à 2,1 m (Lamoureux *et al.*, 2015), ce qui signifie une augmentation considérable de la fréquence des phénomènes de niveaux d'eau extrêmes et des inondations concomitantes. Ces valeurs ne tiennent pas compte des effets de la réduction de la glace de mer (section 2.4.2) ou de l'augmentation de l'intensité des tempêtes (section 2.4.3), qui entraîneront une augmentation de la hauteur des vagues dans une grande partie de l'Arctique, y compris sur la côte de la mer de Beaufort (Khon *et al.*, 2014). Ces facteurs feront encore augmenter la fréquence et l'ampleur des phénomènes de niveaux d'eau extrêmes dans cette région.

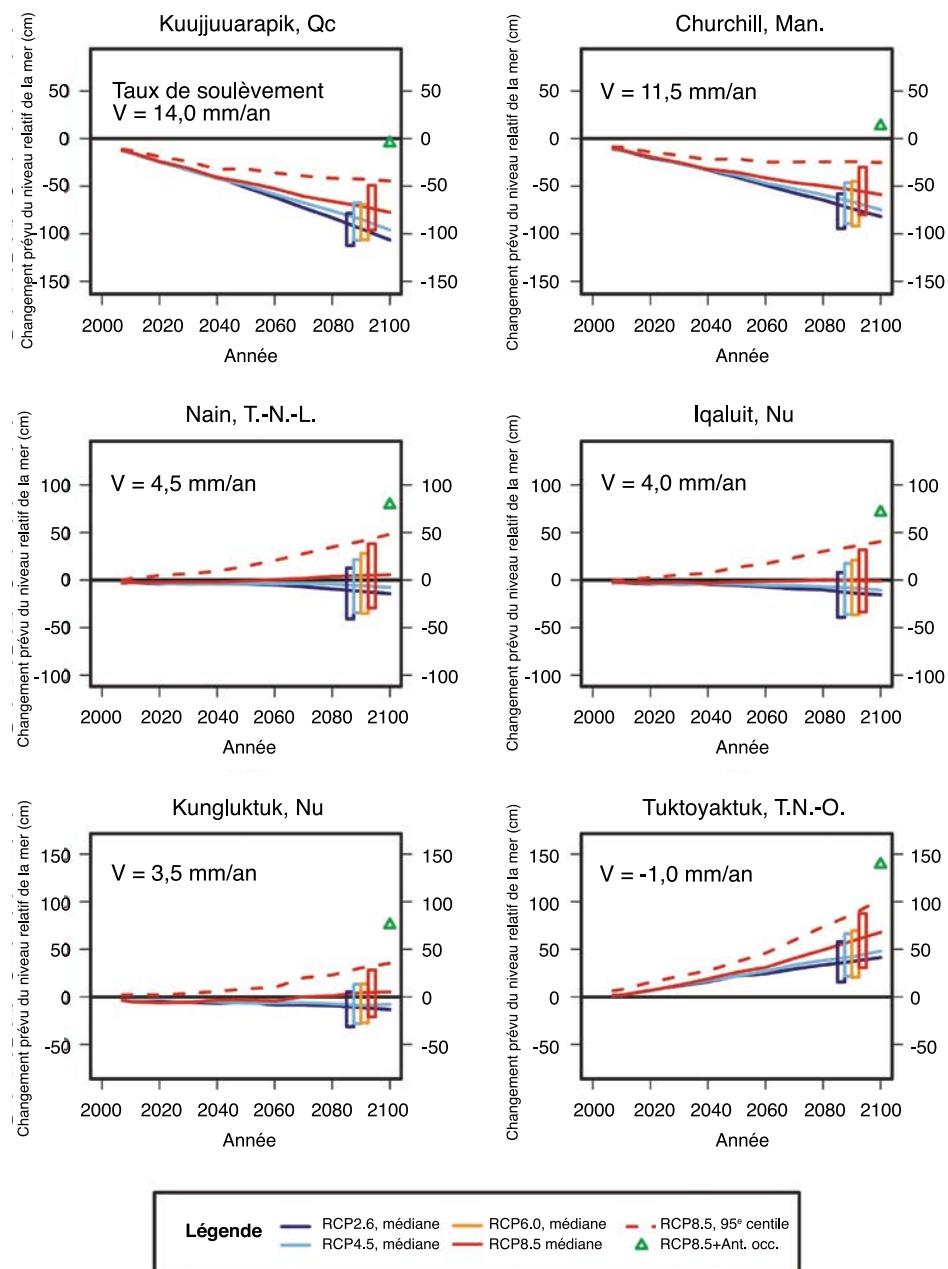


FIGURE 15 : Changement prévu du niveau relatif de la mer, fondé sur le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (Church et al., 2013 a, b) et en ayant recours au déplacement vertical (V) de la croûte terrestre (taux de soulèvement, indiqué à 0,5 mm/an près, tiré des observations au GPS) indiqué dans chaque panneau (James et al., 2014, 2015). Les prévisions sont indiquées pour le siècle en cours en fonction des scénarios à émissions faibles (RCP2.6), à émissions modérées (RCP4.5) et à émissions élevées (RCP8.5). La valeur prévue en 2100 est également indiquée pour le scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique (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 centile pour le scénario à émissions élevées. Voir le chapitre 2 pour obtenir une explication plus détaillée des scénarios. L'annexe A comprend les prévisions pour tous les endroits indiqués à la figure 14.

À long terme, là où l'on prévoit que le niveau de la mer continuera de chuter (ce qui s'applique à une grande partie de la région de la côte Nord; figure 14), l'élévation réduite du niveau moyen de la mer contribuera à une réduction de l'occurrence des phénomènes de niveaux d'eau extrêmes au cours du siècle. À court terme, toutefois, les changements dans l'étendue et la durée de la glace de mer et dans l'intensité des tempêtes ayant lieu dans de nombreux secteurs devraient entraîner une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des phénomènes de niveaux d'eau

extrêmes et de l'érosion côtière, même dans les endroits où le niveau de la mer chute. En particulier, le fait que l'engelacement tardif prolonge la saison d'eau libre jusque dans la saison des tempêtes automnales, au cours de laquelle des vagues plus hautes peuvent se produire, augmente la probabilité générale qu'un événement de vague aura lieu. C'est également le moment où le dégel saisonnier du bas de plage a presque rejoint sa profondeur maximale, et donc le moment où la côte est la plus vulnérable à l'érosion (Hansom et al., 2014).

2.4.5 PERGÉLISOL

Des études approfondies sur l'état du pergélisol au Canada et sur la manière dont il a changé au cours des dernières décennies (p. ex. Burn et Kokelj, 2009; Smith et al., 2013; Ednie et Smith, 2015) révèlent que, à quelques exceptions près, les températures du pergélisol augmentent (figure 16). On prévoit que ces tendances se maintiendront à mesure que le climat continuera de se réchauffer (p. ex. Woo et al., 2007; GIEC, 2013). Les régions qui ont la plus grande réaction thermique ne sont toutefois pas nécessairement les régions qui présentent les plus importants impacts physiques (Smith et Burgess, 2004). Par exemple, s'il y a une forte augmentation de la température du sol, mais le sol a très peu de glace de sol, les impacts physiques du réchauffement du pergélisol seront minimes.

Une température plus élevée du pergélisol peut intensifier l'action des processus côtiers comme le dégel de l'avant-plage (Aré et al., 2008), la rupture en blocs (Hoque et Pollard, 2009) et le glissement régressif dû au dégel (Section 2.2.3; Lantuit et Pollard, 2008). La température plus élevée du pergélisol est généralement associée à une augmentation de l'épaisseur de la couche active qui peut, à son tour, entraîner la déstabilisation de l'infrastructure côtière. Plusieurs collectivités nordiques ont incorporé la recherche sur les conditions changeantes du pergélisol dans leur planification de l'adaptation côtière (p. ex. Couture et al., 2002; Forbes et al., 2014).

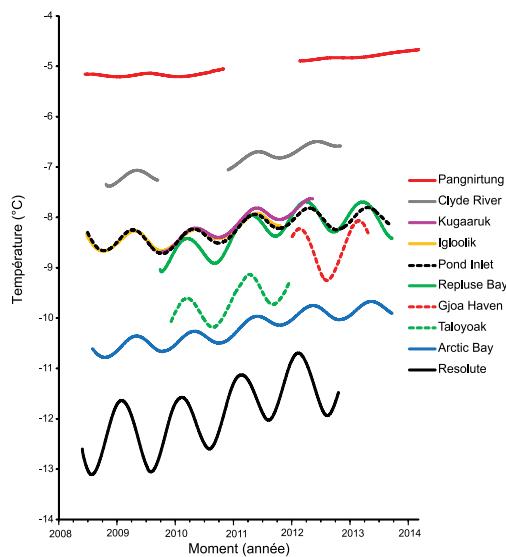


FIGURE 16 : Températures du pergélisol à 15 m de profondeur dans dix collectivités du Nunavut (tiré d'Ednie et Smith, 2015). On constate des augmentations constantes à tous les sites pendant la période d'observation, qui varient de 0,04 °C/an à Igloolik à 0,29 °C/an à Resolute. L'augmentation moyenne pour tous les sites est de 0,15 °C/an.

2.5 OBSERVATIONS AUTOCHTONES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le savoir traditionnel désigne un « corps cumulatif de connaissances, de pratiques et de croyances (...). Il est le produit de l'évolution de processus d'adaptation et se trouve transmis de

génération en génération grâce aux pratiques culturelles [traduction] » (Berkes, 1999, p. 8). On reconnaît généralement que le savoir traditionnel fournit un aperçu particulièrement précieux pour mieux comprendre la manière dont le climat de la côte nordique évolue et pour documenter les impacts connexes (Riedlinger, 1999, 2001; Riedlinger et Berkes, 2001; Fox, 2002; Furgal et al., 2002; Nickels et al., 2002; Thorpe et al., 2002; Ford et Smit, 2004; Gearheard et al., 2006; Tremblay et al., 2006; Smith et Sharp, 2012).

Riedlinger et Berkes (2001) ont cerné cinq façons dont le savoir traditionnel complète les approches scientifiques de la compréhension des changements climatiques et de l'adaptation y compris :

- **Le savoir traditionnel en tant qu'expertise à l'échelle locale :**

locale : Les modèles climatiques mondiaux complexes parviennent difficilement à décrire le changement à l'échelle locale ou régionale. Le savoir traditionnel peut aider à acquérir une compréhension supplémentaire du changement environnemental et social et peut mettre en lumière des boucles de rétroaction et des connexions complexes entre le climat et l'environnement biophysique (Riedlinger et Berkes, 2001; Gearheard et al., 2006).

- **Le savoir traditionnel en tant que source de données historiques et de référence sur le climat :**

historiques et de référence sur le climat : Le savoir traditionnel peut compléter d'autres sources de données lorsqu'il s'agit d'établir un historique du climat passé en fournissant des perceptions spécifiques fondées sur l'expérience cumulative antérieure. Les contes et les récits historiques verbaux, par exemple, ont été largement utilisés afin d'aider à élucider les conditions climatiques tout au long du XX^e siècle et au-delà (MacDonald, 1998; Cruikshank, 2001; Aporta, 2002, 2011; Berkes et Jolly, 2002; Duerden, 2004; Ford et al., 2006a; Aporta et MacDonald, 2011). Par exemple, les aînés de Sachs Harbour, dans les Territoires du Nord-Ouest, parlent des années de glace extrême, comme « l'année de glace froide » de 1933, dans leurs récits sur les déplacements entre les territoires de chasse et de trappage (Riedlinger et Berkes, 2001).

- **Aperçu sur les impacts et l'adaptation communautaire :**

S'adapter au changement fait partie intégrante des systèmes de subsistance et de la culture des communautés autochtones côtières du Nord. Le savoir traditionnel offre un aperçu à la fois sur les manifestations indubitables des changements climatiques (tableau 4) et sur la manière dont les membres de la collectivité locale perçoivent, comprennent et subissent ces impacts et dont ils composent avec les changements. Un exemple provenant d'Igloolik, au Nunavut, porte sur le *nigajutait/putlaujaraq* (petites poches d'eau libre qui subsistent pendant que la glace gèle / poches d'air sous la glace). Lorsque ces phénomènes se produisent pendant l'engelacement automnal, les chasseurs utilisent leurs harpons pour vérifier l'épaisseur de la glace et déterminer si on peut y marcher, y passer en traîneau à chiens ou y passer en motoneige de façon sécuritaire (Laidler et Ikummaq, 2008; Laidler et al., 2009). Cette technique, qui est une stratégie d'adaptation adoptée afin de composer avec les changements dans la glace de mer, repose sur une longue tradition de compréhension des subtilités des processus locaux de la glace de mer et de sa formation (Laidler et al., 2009).

TABLEAU 4 : Observations communautaires du changement environnemental dans la région côtière du Nord, compilées à partir de diverses sources citées à la section 2.5.

MÉTÉO

Observations fondées sur le savoir traditionnel	Territoires du Nord-Ouest (Région désignée des Inuvialuit)	Nunavut	Québec (Nunavik)	Labrador (Nunat -siavut)	Québec (Sud de la baie d'Hudson [Cris])	Répercussions (généralisées pour l'ensemble des collectivités)
Variabilité croissante et diminution de l'aptitude à prévoir le temps	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Danger accru lors des déplacements sur la terre ou sur la glace
Changements dans la vitesse, la direction et la fréquence du vent	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Danger accru lors des déplacements sur la terre ou sur la glace; diminution de la fiabilité du savoir traditionnel
Augmentation de la fréquence des orages et des phénomènes météorologiques extrêmes	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Danger accru lors des déplacements sur la terre ou sur la glace; dommages accrus à l'infrastructure; accès restreint aux ressources aux fins de récolte; érosion côtière accélérée
Différences dans la neige : moins de neige en hiver, mais plus de neige dans certains cas; arrivée tardive à l'automne ou en hiver; texture plus légère et plus mouillée	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Difficulté et danger accrus lors des déplacements sur la terre ou sur la glace; accès restreint aux territoires de chasse; changements dans les itinéraires de chasse; diminution de la fiabilité du savoir traditionnel; répercussions sur l'englacement et le dégagement de l'eau de mer, de même que sur la consistance et la fiabilité de la glace
Ondes de tempête et érosion côtière accrues	Oui	Oui	Non	Non	Non	Danger accru lors des déplacements sur la terre ou sur la glace; dommages accrus à l'infrastructure; accès restreint aux ressources aux fins de récolte; érosion côtière accélérée
Pluie accrue (généralement à l'automne ou au printemps, en été)	Oui	Oui	Non	Non	Non	Répercussions sur l'infrastructure; répercussions sur l'englacement et la débâcle de la glace de mer, et sur la consistance et la fiabilité de la glace

TEMPÉRATURE

Observations fondées sur le savoir traditionnel	Territoires du Nord-Ouest (Région désignée des Inuvialuit)	Nunavut	Québec (Nunavik)	Labrador (Nunat -siavut)	Québec (Sud de la baie d'Hudson [Cris])	Répercussions (généralisées pour l'ensemble des collectivités)
Étés plus chauds (dans certaines collectivités)	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Répercussions sur les processus de vieillissement des aliments traditionnels; flore et faune changeantes; répercussions sur la glace de mer
Étés plus frais (dans certaines collectivités)	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Répercussions sur les processus de vieillissement des aliments traditionnels
Hivers plus chauds; moins de journées froides; hivers commencent plus tard	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Répercussions sur les processus de vieillissement des aliments traditionnels; flore et faune changeantes; répercussions sur la glace de mer et sur les déplacements sur la glace

DYNAMIQUE DE LA GLACE

Observations fondées sur le savoir traditionnel	Territoires du Nord-Ouest (Région désignée des Inuvialuit)	Nunavut	Québec (Nunavik)	Labrador (Nunat-siavut)	Québec (Sud de la baie d'Hudson [Cris])	Répercussions (généralisées pour l'ensemble des collectivités)
Déglacement plus hâtif de la glace de mer	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Accès restreint aux territoires de chasse; danger accru lors des déplacements sur la glace; prolongement de la saison de navigation
Amincissement de la glace	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Danger accru lors des déplacements sur la glace et risque accru de rupture; plus de difficultés à prévoir l'épaisseur
Englacement de la glace de mer plus lent	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Accès restreint aux territoires de chasse; danger accru lors des déplacements sur la glace
Changements dans la couleur, la texture et la consistance de la glace	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Danger accru lors des déplacements sur la glace; plus de difficulté à prévoir l'épaisseur et la sécurité; augmentation du nombre de ruptures (surtout au bord du floe)
Diminution ou disparition de la glace pluriannuelle en été; plus d'eau libre et d'eaux agitées dans certaines régions; changements dans l'emplacement du bord des floes	Oui	Oui	Non	Non	Non	Augmentation de la durée de la saison de navigation; bord des floes plus près de la ville; accès restreint et accru à différents territoires de chasse; changements dans la faune
Changements dans la glace des rivières et des lacs : amincissement de la glace, débâcle plus hâtive, englacement plus tardif et plus lente	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Danger accru lors des déplacements sur la glace; plus de difficultés à prévoir l'épaisseur et la sécurité; accès restreint aux territoires et aux sentiers de chasse

PROCESSUS GÉOMORPHOLOGIQUES ET VÉGÉTATION

Observations fondées sur le savoir traditionnel	Territoires du Nord-Ouest (Région désignée des Inuvialuit)	Nunavut	Québec (Nunavik)	Labrador (Nunat-siavut)	Québec (Sud de la baie d'Hudson [Cris])	Répercussions (généralisées pour l'ensemble des collectivités)
Dégel du pergélisol	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Dommages à l'infrastructure; diminution du terrain disponible aux fins de développement
Augmentations de l'érosion côtière	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Endommagement et perte de sites culturels et d'infrastructure; réinstallation de bâtiments dans certaines collectivités
Enfoncement des terres dans certaines régions	Oui	Oui	Non	Non	Non	Dommages à l'infrastructure; diminution du terrain disponible aux fins de développement
Plus de boue sur les terrains et problèmes de drainage	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Dommages à l'infrastructure; changements aux itinéraires de chasse; diminution du terrain disponible aux fins de développement
Changements dans la flore	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Changement d'espèces; changements dans la faune
Changements dans les niveaux d'eau des lacs et des rivières	Non	Non	Oui	No	Oui	Inondations; répercussions sur l'infrastructure; érosion côtière; répercussions sur la faune

FAUNE

Observations fondées sur le savoir traditionnel	Territoires du Nord-Ouest (Région désignée des Inuvialuit)	Nunavut	Québec (Nunavik)	Labrador (Nunavut-siavut)	Québec (Sud de la baie d'Hudson [Cris])	Répercussions (généralisées pour l'ensemble des collectivités)
Changements dans le comportement migratoire	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Changements dans les pratiques et les itinéraires de chasse; changements dans la disponibilité d'aliments prélevés dans la nature aux fins de consommation
Déclin de la santé animale chez certaines espèces ou changements physiologiques chez certaines espèces (c.-à-d. fourrure ou peau moins épaisse)	Oui	Oui	Non	Non	Non	Changements dans la disponibilité d'aliments prélevés dans la nature aux fins de consommation
Changements dans les chiffres de population	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Changements dans les pratiques et les itinéraires de chasse; changements dans la disponibilité d'aliments prélevés dans la nature aux fins de consommation; imposition d'une interdiction d'importation par les États-Unis à l'égard des peaux d'ours polaire
Changements dans les espèces	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Changements d'espèces; changements dans les pratiques et les itinéraires de chasse; changements dans la disponibilité d'aliments prélevés dans la nature aux fins de consommation

3 VULNÉRABILITÉ

Les côtes nordiques du Canada connaissent déjà des changements environnementaux rapides. La sensibilité biophysique inhérente des côtes, ainsi que l'ampleur des changements climatiques futurs prévus dans l'Arctique, semblent indiquer que les collectivités côtières nordiques pourraient être très susceptibles aux impacts climatiques futurs. La présente section examine les connaissances relatives à la vulnérabilité potentielle des collectivités et des économies nordiques par secteur : infrastructure et transport, santé et bien-être, affaires et économie, culture et éducation de même que récolte de subsistance (Ford et Pearce, 2010; Ford et al., 2012a, b). La majorité des travaux publiés dans ce domaine met l'accent sur les communautés inuites. Des études de cas sont incluses en vue de permettre une discussion plus approfondie des enjeux sectoriels ou pour donner des exemples d'enjeux particuliers.

3.1 INFRASTRUCTURE ET TRANSPORT

Les réseaux et les infrastructures de transport le long des côtes nordiques sont particulièrement sensibles aux impacts des changements climatiques en raison de l'importance du pergélisol et de la glace de mer. Les recherches dans ce secteur mettent l'accent sur deux domaines principaux : l'environnement bâti (y compris l'infrastructure portuaire) et les sentiers semi-permanents entre les collectivités. La navigation est abordée à la section 3.3.

3.1.1 ENVIRONNEMENT BÂTI

L'environnement bâti le long des côtes nordiques comprend, aux fins des présentes, les routes, les bâtiments, les bandes d'atterrissement, les installations portuaires, les installations de traitement des eaux et des eaux usées, l'infrastructure de drainage, les installations de communication (lignes de transmission), les pipelines et les installations industrielles (p. ex. les mines et les routes d'accès aux mines). L'environnement bâti est un élément clé du bien-être de la collectivité aussi bien que de la croissance durable future. Même si les nouveaux investissements au niveau de l'infrastructure ont la possibilité d'incorporer les considérations liées à l'évolution du climat, l'infrastructure existante est confrontée à un éventail de risques et de possibilités de même qu'à des options d'adaptation (étude de cas 2).

ÉTUDE DE CAS 2

PORT DE CHURCHILL, AU MANITOBA

Le port de Churchill est le plus gros port de la côte Nord et le seul en eau profonde (figure 17), ce qui en fait un emplacement stratégique pour le transport des marchandises sur les océans Arctique et Atlantique. Il est doté de quatre postes de mouillage,



FIGURE 17 : Le port de Churchill est le seul port en eau profonde de la région de la côte Nord du Canada. Photo gracieuseté de Hudson Bay Route Association.

dont un pour les navires-citernes qui peut accueillir des navires de la classe Panamax. Construits dans les années 1930, le port et le lien ferroviaire vers The Pas, au Manitoba, ont été achetés par OmniTRAX en 1997 et continuent d'être exploités par la Hudson Bay Port Company et la Hudson Bay Railway (HBR; Port de Churchill, sans date). Ensemble, la ligne ferroviaire et le port offrent une connexion commerciale importante, les utilisations principales du port étant le transport maritime international (p. ex. l'exportation de grain de l'Ouest du Canada vers les marchés d'Afrique du Nord, d'Europe, du Moyen-Orient, d'Amérique du Sud et du Mexique) et le réapprovisionnement maritime en marchandises sèches, en carburant et en cargo industriel pour la région de Kivalliq au Nunavut. La Churchill Gateway Development Corporation a été créée en 2003 pour défendre l'expansion et la diversification de Churchill à titre de porte d'entrée du nord du Canada.

Le port est actuellement confronté aux défis suivants : 1) une saison de navigation courte (accès maritime pendant 14 à 16 semaines), 2) une forte dépendance à l'égard du transport maritime du grain, 3) des problèmes de fiabilité et d'efficacité de la chaîne d'approvisionnement ferroviaire, 4) des difficultés touchant les prolongations de couverture d'assurance maritime et le peu de soutien de la Garde côtière pour la navigation dans des eaux difficiles, 5) une infrastructure portuaire vieillissante dont la mise à niveau et l'expansion exigent d'importants investissements financiers et 6) la concurrence des ports de Thunder Bay et de Québec. Plusieurs de ces défis touchent les risques climatiques, que les changements climatiques peuvent aggraver tout en fournissant de nouvelles possibilités de croissance. Par exemple, la durée croissante de la saison d'eau libre offre au port une possibilité d'expansion et de croissance puisque les prévisions permettent de croire que la saison de navigation pourrait augmenter de jusqu'à deux semaines tant au début de l'été qu'à la fin de l'automne (Section 3.3). L'application du protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques, 2007) à l'infrastructure du port a permis de désigner des facteurs tels l'augmentation des cycles gel-dégel, les pluies de grande intensité et l'activité orageuse accrue comme étant des impacts climatiques clés. Plus de 450 interactions climatiques possibles ont été examinées et 21 d'entre elles ont été identifiées comme

présentant des risques moyens et exigeant une analyse supplémentaire (Stantec, 2015).

L'assiette des rails à voie unique de la HBR qui approvisionne le port court des risques plus graves. D'importants problèmes d'utilisation et d'entretien sont causés par 1) le dégel du pergélisol discontinu, 2) les mauvaises propriétés géotechniques du sol de fondrière sur lequel repose l'assiette des rails et 3) les fortes précipitations qui entraînent des glissements de terrain et des inondations susceptibles d'emporter la voie ferrée (Bristow et Gill, 2011; Addison *et al.*, 2015). On prévoit que ces effets indésirables s'aggraveront à mesure que les changements climatiques se poursuivront, au point où l'infrastructure terrestre de transport qui assure la connexion avec le port devra faire face à des risques accrus (Bristow et Gill, 2011). Parmi les mesures d'adaptation proposées en vue d'atténuer ces risques, on compte les nouvelles technologies d'ingénierie qui peuvent aider à stabiliser les terrains contenant du pergélisol, l'utilisation de gravier plutôt qu'une chaussée dans la construction des routes (p. ex. la proposition d'une autoroute reliant le Manitoba et le Nunavut) et la construction des ponts en fonction des normes les plus élevées (Bristow et Gill, 2011).

En 2013, un groupe de travail fédéral et provincial sur l'avenir de Churchill a été chargé d'examiner les possibilités futures. Le Programme d'utilisation du port de Churchill de cinq ans, qui a débuté en 2012, offre des incitations économiques encourageant l'expédition du grain admissible par le port et la diversification des exportations de ressources afin d'inclure, par exemple, la potasse, le gaz naturel liquéfié et le pétrole brut. On vise entre autres à ouvrir les marchés inexploités du Nord à une plus grande concurrence, à renforcer les liens commerciaux entre le Manitoba et le Nunavut de même qu'à assurer le développement de nouveaux acteurs sur la scène de l'industrie du grain.

Il ressort de la littérature (Champalle *et al.*, 2013) trois approches distinctes de l'évaluation de la vulnérabilité de l'environnement bâti : l'évaluation communautaire, l'évaluation technique et l'évaluation sectorielle.

Les évaluations communautaires de la vulnérabilité

intègrent la science et le savoir local et traditionnel en insistant fortement sur la compréhension des processus décisionnels qui régissent la gestion du risque posé par le climat pour l'environnement bâti. On compte parmi les obstacles à l'adaptation au niveau communautaire : 1) la difficulté à accéder à des renseignements au sujet des changements climatiques (encadré 3), 2) l'absence d'une compétence ou de protocoles clairs permettant d'aborder la question des impacts des changements climatiques sur l'environnement bâti, 3) le coût de l'adaptation de l'infrastructure au climat et 4) le manque de personnel dans les municipalités (Andrachuk et Pearce, 2010; Ford *et al.*, 2010a; Hovelsrud et Smit, 2010; Pearce *et al.*, 2010a; Boyle et Dowlatabadi, 2011). Certaines collectivités ont élaboré des plans d'adaptation visant l'environnement bâti qui font le point sur des activités recommandées, l'entité responsable de leur mise en œuvre de même que les mesures prioritaires (étude de cas 3; Callihoo et Ohlson, 2008; Callihoo et Romaine, 2010; Hayhurst et Zeeg, 2010; Johnson et Arnold, 2010).

ENCADRÉ 3

PORTAIL ARCTIC ADAPTATION EXCHANGE

Le Conseil de l'Arctique a déterminé que l'accès aux ressources d'information était un obstacle empêchant de nombreux habitants du Nord de comprendre les impacts des changements climatiques et d'y réagir (Conseil de l'Arctique, 2015). Afin de régler ce problème, un portail de renseignements sur l'adaptation a été mis au point par l'entremise du Groupe de travail sur le développement durable du Conseil. On accède au portail par le site Web Arctic Adaptation Exchange, qui a été lancé en 2015 (www.arcticadaptationexchange.com). Le portail facilite l'échange de connaissances sur l'adaptation aux changements climatiques dans le nord circumpolaire et sert de carrefour central d'information pour les collectivités, les chercheurs et les décideurs des secteurs public et privé.

le secteur du logement, les aînés et les jeunes. Les résultats préliminaires de la carte d'adéquation des terres pour Arviat ont été affichés, accompagnés de présentations et d'un court documentaire préparé par une équipe de jeunes journalistes d'Arviat. Des discussions ont été organisées au sujet du processus décisionnel en planification et en construction, des impacts du pergélisol sur les bâtiments locaux et de la prise en considération de différents types de fondations ou de différentes conceptions de bâtiments. Les aînés de la collectivité ont partagé leurs connaissances au sujet des changements survenus dans le paysage et leurs expériences en matière de murs fissurés et de fondations instables (Centre sur les changements climatiques du Nunavut, sans date). Le projet devrait donner aux collectivités les outils et les politiques nécessaires à une meilleure gestion des terres afin de minimiser les défaillances d'infrastructures attribuables à la dégradation du pergélisol.

ÉTUDE DE CAS 3

PLANIFICATION RELATIVE AU DÉGEL DU PERGÉLISOL AU NUNAVUT

Les températures du pergélisol ont augmenté au cours des dernières 20 à 30 années dans la quasi-totalité de l'Arctique. Même si la cueillette *in situ* de données sur le pergélisol aide à quantifier le changement et à éclairer la planification en fonction des impacts futurs, il s'agit d'une tâche longue et difficile (Vaughan *et al.*, 2013). En conséquence, d'autres techniques sont nécessaires en vue de déterminer les cas de dégradation du pergélisol, y compris l'utilisation de données satellitaires (Vaughan, *et al.*, 2013). Le projet d'Analyse du terrain au Nunavut, géré par le Ministère des Services communautaires et gouvernementaux du gouvernement du Nunavut, engage sept collectivités : Arviat, Baker Lake, Kimmirut, Gjoa Haven, Cape Dorset, Pangnirtung et Kugluktuk (Government of Nunavut, 2013). L'objectif est de cerner le terrain qui est vulnérable aux impacts des changements climatiques au moyen d'images radar recueillies par satellite, de modèles d'élévation numériques, d'images optiques, de visites sur place et de connaissances locales. Ces renseignements sont convertis en cartes des zones de risque qui établissent une classification indiquant l'adéquation des terres à des fins de mise en valeur future. Les décideurs, tels les planificateurs et les ingénieurs, utiliseront ces cartes lorsqu'ils mettront au point des plans communautaires municipaux (Mate *et al.*, 2012).

L'engagement communautaire est un aspect clé du projet. Les mécanismes utilisés comprennent des soirées d'information, des entrevues radiodiffusées, des séances d'information dans les écoles et des discussions ouvertes. Au cours de l'été 2013, des événements semblables ont été organisés dans le hameau d'Arviat dans le but de faire participer les dirigeants communautaires, les entreprises locales,

Les évaluations techniques de la vulnérabilité dans la région de la côte Nord examinent principalement les risques posés par le dégel du pergélisol sur des actifs d'infrastructure particuliers, en fonction des profils géotechniques, des inspections sur le terrain par les ingénieurs, des consultations auprès des intervenants ou de la modélisation du pergélisol. Le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a déterminé que le dégel du pergélisol touche neuf des treize installations d'infrastructure aéroportuaires du MTQ au Nunavik, provoquant des affaissements importants (Boucher et Guimond, 2012). L'évaluation de la vulnérabilité des fondations des bâtiments à Inuvik, dans les Territoires du Nord-Ouest, ont fait état du mauvais fonctionnement des fondations à thermosiphon en raison de la mauvaise conception ou construction des semelles granulaires sur lesquelles reposent les tuyaux de l'évaporateur à thermosiphon et d'une conception inadéquate de l'isolation (Holubec Consulting Inc., 2008). L'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments à la dégradation du pergélisol dans trois peuplements côtiers des Territoires du Nord-Ouest a permis de cerner des possibilités, lors de la conception des bâtiments, de minimiser le risque potentiel, en démontrant qu'une « adaptation éclairée » pouvait réduire le coût des impacts d'un tiers par rapport aux coûts encourus lorsqu'aucune mesure n'est prise (Zhou *et al.*, 2007). Les études techniques servent également à éclairer l'élaboration et la surveillance de mesures précises visant à lutter contre l'érosion côtière.

Les évaluations sectorielles de la vulnérabilité mettent l'accent sur l'infrastructure dans des secteurs particuliers. Dans le nord du Canada, on a insisté particulièrement sur ce que les changements climatiques signifient pour l'exploitation minière (encadré 4; Ford *et al.*, 2010d; Pearce *et al.*, 2010a). Les sensibilités aux changements climatiques sont liés aux impacts possibles du dégel du pergélisol, du soulèvement par le gel et du cycle de gel-dégel sur la stabilité des infrastructures et des stériles, de même qu'aux impacts des phénomènes météorologiques extrêmes sur les activités minières. Les efforts visant à concevoir des infrastructures minières de manière à incorporer les considérations liées aux changements climatiques ont été limités jusqu'à maintenant, ce qui fait que d'importantes vulnérabilités pourraient se présenter, en particulier au cours de la phase postérieure à l'exploitation des mines (Pearce *et al.*, 2010a).

ENCADRÉ 4

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET L'INFRASTRUCTURE MINIÈRE DANS LE NORD DU CANADA

Les changements climatiques en cours ont des répercussions sur les activités d'extraction des ressources dans les régions côtières nordiques. Certains changements, en particulier la diminution de la couverture de glace de mer, pourrait présenter des avantages pour l'exploitation minière dans la région en raccourcissant les itinéraires de transport maritime et en prolongeant les saisons de navigation (Lemmen et al., 2014). La plupart des recherches sur l'infrastructure minière mettent l'accent sur les risques liés au climat. Selon la nature et l'emplacement d'une mine, différentes composantes peuvent être touchées par le dégel du pergélisol, l'augmentation des températures moyennes et les phénomènes de précipitations extrêmes, entre autres les enceintes de confinement, les bâtiments, les sources d'énergie, les réseaux de transport et le drainage du site minier (Ford et al., 2010b, 2011b; Pearce et al., 2011a). Du point de vue historique, les changements qui se sont produits dans ces paramètres ont, dans certains cas, mené à l'affaiblissement de l'intégrité structurelle et de la sécurité des routes de glace, des ponts, des pipelines et des bandes d'atterrissement de même que des parois des mines à ciel ouvert et des structures de confinement. Le risque de défaillance structurelle en raison des changements climatiques prévus est une préoccupation qui touche plusieurs mines exploitées, abandonnées ou orphelines dans l'ensemble du Nord canadien.

D'autres études ont examiné la vulnérabilité de l'infrastructure de transport d'énergie dans les collectivités côtières nordiques. Des itinéraires de tempête changeants caractérisés par de plus fortes advections de température, des courants ascendants plus forts et davantage d'humidité pourraient faire augmenter la probabilité de précipitations verglaçantes et de tempêtes plus violentes (Roberts et Stewart, 2008; Roberts et al., 2008), ce qui aurait des répercussions au niveau de l'infrastructure de transport d'énergie. On se préoccupe entre autres de la grosseur des fils électriques par rapport aux fils dans le sud et de leur susceptibilité potentielle aux tempêtes de verglas (Roberts et Stewart, 2008). Le secteur de l'énergie est également touché par la variabilité accrue de l'écoulement fluvial dans l'ensemble des régions nordiques (Barber et al., 2008), ce qui aura une incidence sur la production hydroélectrique (Dery et al., 2009).

3.1.2 SENTIERS SEMI-PERMANENTS

Les petites communautés autochtones dépendent fortement des sentiers semi-permanents sur la glace de mer, de même qu'en milieux terrestres et sur la glace des rivières et des lacs, pour leurs déplacements aux fins de loisirs et de récolte. L'évolution des régimes nivologiques et glaciologiques, le climat moins prévisible et les configurations changeantes des vents rendent les déplace-

ments plus dangereux et moins fiables, ce qui compromet la capacité des résidents d'entreprendre des activités de récolte (étude de cas 4; Tremblay et al., 2008; Laidler et al., 2009; Peloquin et Berkes, 2009; Lemelin et al., 2010; Gearheard et al., 2011; Ford et al., 2013b). Un sondage auprès des résidents de Nain, à Terre-Neuve-et-Labrador, a révélé que lors de l'hiver anormalement chaud de 2009–2010, environ la moitié d'entre eux ne pouvaient pas utiliser leur itinéraire habituel et ont dû prendre davantage de risques pour se déplacer sur la glace de mer, et environ les trois quarts d'entre eux ont rapporté être incapables de prévoir les conditions de glace et avoir peur d'utiliser la glace. Près d'un répondant sur douze utilisant la glace de mer était passé à travers la glace au cours de cet hiver (Furgal et al., 2012).

ÉTUDE DE CAS 4

ADAPTER LES DÉPLACEMENTS HIVERNAUX

Des conditions de neige et de glace de mer plus variables et moins prévisibles compromettent l'utilisation des sentiers d'hiver, portent atteinte à la sécurité et nuisent à l'accès aux aliments prélevés dans la nature et au bois de chauffage de même qu'à la transmission intergénérationnelle des compétences liées au territoire (Riedlspurger et al., sous presse). Les utilisateurs locaux de la glace de mer près de Makkovik et Postville, au Nunatsiavut (Terre-Neuve-et-Labrador), ont indiqué qu'en raison des hivers doux récents les déplacements présentent plus de risques, tout en faisant remarquer que leur niveau de confiance par rapport aux déplacements dans ces régions a diminué au cours de leur existence. Les résidents ont identifié les zones de déplacement dangereuses et ont abandonné certains itinéraires de déplacement sur la glace de mer qui sont moins protégés des conditions de mer libre (figure 18). Les sentiers terrestres sont moins touchés par la variabilité et le changement du climat, et beaucoup de gouvernements communautaires inuits se sont adaptés aux conditions changeantes en établissant ou en améliorant des sentiers terrestres entretenus qui offrent un accès fiable et plus sécuritaire aux sites de récolte et de chasse.

Dans les situations où des sentiers terrestres ne constituent pas une option viable, on met au point et à l'essai un nouveau système communautaire et intégré d'information et de diffusion sur la glace de mer dans des collectivités du Nunatsiavut et du Nunavut (Bell et al., 2014). Le système Sea-Ice Monitoring And Real-Time Information for Coastal Environments (SmartICE ou système de surveillance et d'information en temps réel sur la glace de mer pour les environnements côtiers ; <http://nainresearchcentre.com/research-projects/smartice/>) complète les cartes de la glace de mer à l'échelle régionale existantes (p. ex. Laidler et al., 2011) en offrant des observations et en rendant disponibles des connaissances locales sur l'épaisseur et les caractéristiques de surface de la glace de mer pertinentes du point de vue de la sécurité des déplacements locaux (figure 19). Les principaux éléments technologiques du système sont 1) un réseau de capteurs automatisés *in situ* qui mesurent l'épaisseur et d'autres caractéristiques de la glace

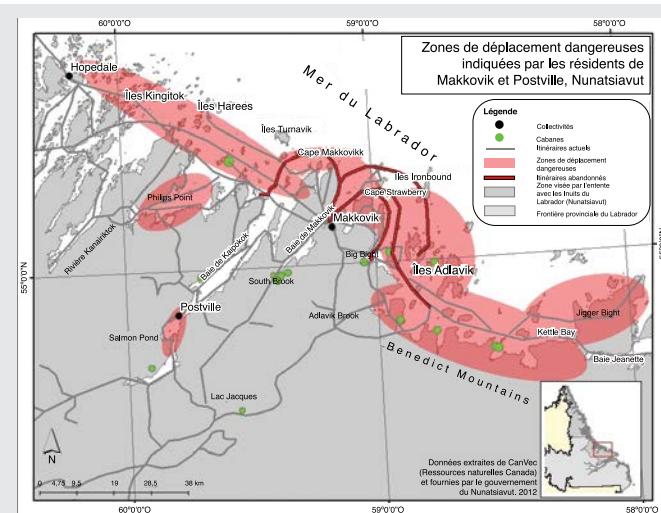


FIGURE 18 : Zones de déplacement dangereuses (en rouge) identifiées par les résidents de Makkovik et Postville, au Nunatsiavut, à Terre-Neuve-et-Labrador (tiré de Riedlsperger, 2013). Les itinéraires de déplacement sur la glace de mer abandonnés sont illustrés par des lignes rouge foncé. Les sentiers terrestres (lignes grises) offrent maintenant des itinéraires de déplacement plus sécuritaires et fiables.

de mer et transmettent les données par satellite Iridium, 2) un conductivimètre de sol adapté utilisé comme capteur d'épaisseur de la glace autonome pouvant être transporté par traîneau (Haas et al., 2011), 3) des images répétées prises par satellite à partir desquelles on cartographie les conditions à la surface de la glace de mer (p. ex. la concentration, la rugosité et la teneur en eau) en fonction de systèmes de classification définis par les utilisateurs et 4) une technologie de l'information qui intègre les données sur la glace de mer recueillies *in situ* et par télédétection afin de créer des produits numériques bruts et transformés qui répondent aux besoins des groupes d'utilisateurs, qu'il s'agisse de gestionnaires de la navigation dans les glaces, d'experts inuits de la glace ou d'utilisateurs de la glace aux fins de loisirs. SmartICE cherche à accroître le *Qaujimajatuqangit* (savoir traditionnel) au sujet des conditions locales de glace de mer, et non pas de le remplacer.

Parmi les autres mesures d'adaptation, on compte la mise à niveau de l'équipement et l'amélioration de l'entretien des sentiers, l'utilisation de motoneiges plus puissantes, l'adoption d'activités de subsistance plus souples, le renforcement des programmes sur



FIGURE 19 : Station communautaire de surveillance de la glace de Nain, à Terre-Neuve-et-Labrador, où l'on peut voir un prototype de capteur SmartICE pris dans la glace (avant-plan droit). Le capteur envoie des mesures quotidiennes de l'épaisseur de la glace par satellite au portail de données SmartICE. Photo gracieuseté de R. Briggs.

le savoir traditionnel et l'acquisition de compétences de même que l'amélioration de la collaboration et des réseaux de partage officiels (Riedlsperger, 2013). On compte au nombre des obstacles à l'adaptation les contraintes en matière de ressources humaines et financières, qui peuvent empêcher l'accès à l'équipement le plus approprié aux fins de déplacements sécuritaires, de même que les règlements qui réduisent la souplesse à l'égard de l'endroit et du moment des déplacements, par exemple les permis de chasse et de trappage obligatoires (Riedlsperger, 2013).

L'engagement automnal est une période de l'année caractérisée par un grave danger et des restrictions au niveau de l'accès, et le réchauffement du climat de même que des températures plus variables contribueront à prolonger la période d'instabilité de la glace (Laidler et al., 2009). Pour les collectivités qui chassent au bord des floes à la fin du printemps et au début de l'été, comme celles de l'est de l'île de Baffin, au Nunavut, ou qui utilisent la banquise flottante comme plate-forme de chasse, les conditions de glace plus dynamiques créent des problèmes particulièrement épineux. Diverses mesures d'adaptation ont été documentées en réaction à ces changements, notamment la modification du moment et du lieu des activités de récolte, le remplacement des espèces récoltées et chassées, la création de nouveaux itinéraires de déplacement et l'action d'éviter de se déplacer à certains moments et en certains endroits (Gearheard et al., 2006; Ford et al., 2008; Tremblay et al., 2008; Aporta, 2011; Ford et al., 2013b). Le savoir traditionnel, les réseaux sociaux et les technologies comme les téléphones satellites, les dispositifs de type SPOT et les appareils GPS ont tous été identifiés comme des éléments de base sur lesquels se fondent ces mesures d'adaptation, même si beaucoup d'études font état de préoccupations quant à l'affaiblissement des compétences liées au territoire et au savoir traditionnel chez les jeunes générations (Peloquin et Berkes, 2009; Pearce et al., 2011b; Pearce et al., 2015).

3.2 SANTÉ ET BIEN-ÊTRE

Les impacts sur la santé des changements climatiques dans les collectivités côtières nordiques seront multidimensionnels (tableau 5). Ils peuvent être directs et découler des changements dans la température ou des phénomènes climatiques extrêmes (Furgal et al., 2008; Parkinson et Berner, 2009), ou indirects et découler de la manière dont les changements climatiques touchent la subsistance, l'infrastructure, la faune et les agents infectieux (Furgal et al., 2002; Furgal et Seguin, 2006; Healey et al., 2011). Les études ont mis principalement l'accent sur les populations autochtones, surtout les petites communautés inuites, en insistant fortement sur la sécurité alimentaire et le danger des déplacements. La sécurité de l'eau, la santé mentale et les répercussions des changements climatiques sur les contaminants sont des domaines de recherche qui n'en sont qu'à leurs débuts (Constant et al., 2007; McKinney et al., 2009).

Les principaux facteurs déterminant la manière dont les changements climatiques porteront atteinte à la santé sont les suivants :

TABLEAU 5 : Impacts directs et indirects possibles sur la santé des changements climatiques dans le Nord canadien (selon Furgal et Seguin, 2006).

Changement identifié relatif au climat	Exemples d'impacts possibles sur la santé
Augmentation de l'ampleur et de la fréquence des extrêmes de température (Direct)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Taux accrus de morbidité et de mortalité liés à la chaleur et au froid ▪ Stress respiratoire en été chez les populations à risque élevé (p. ex. aînés, personnes ayant une mauvaise santé respiratoire)
Augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. tempêtes) (Direct)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmentation de la fréquence et de la gravité des accidents de chasse et de déplacement, entraînant des blessures, des décès et du stress psychologique
Augmentation de l'ampleur et de la fréquence des extrêmes de température (Indirect)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmentation de l'incidence et de la transmission de maladies infectieuses, perturbations psychosociales ▪ Modification des itinéraires de migration et de déplacement des animaux
Diminution de la répartition, de la stabilité et de la durée de la couverture de glace (Indirect)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmentation de la fréquence et de la gravité des accidents de chasse et de déplacement, entraînant des blessures, des décès et du stress psychologique ▪ Réduction de l'accès aux aliments prélevés dans la nature; diminution de la sécurité alimentaire, érosion des valeurs sociales et culturelles liées à la préparation, au partage et à la consommation des aliments prélevés dans la nature
Changements dans la composition de la neige (Indirect)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Difficultés à construire des abris (igloos) afin d'assurer la sécurité lors de déplacements sur le territoire
Augmentation de l'aire de répartition et de l'activité des agents infectieux existants et nouveaux (p. ex. insectes piqueurs) (Indirect)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exposition accrue à des maladies existantes et nouvelles à transmission vectorielle
Changements au niveau de l'écologie locale des agents infectieux de nature hydrique et alimentaire (introduction de nouveaux parasites) (Indirect)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmentation de l'incidence des maladies diarrhéiques et d'autres maladies infectieuses ▪ Émergence de nouvelles maladies
Augmentation de la fonte du pergélisol, diminution de la stabilité structurelle (Indirect)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution de la stabilité de l'infrastructure de santé publique, de logement et de transport
Élévation du niveau de la mer (Indirect)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impacts physiques et perturbations psychosociales associés aux dommages matériels et à la réinstallation de la collectivité (partielle ou complète)

Conditions socioéconomiques : Les habitants du Nord, en particulier les Autochtones, courent plus de risques de vivre dans la pauvreté, de connaître l'insécurité en matière de logement et d'alimentation et de présenter des taux accrus de maladies gastro-intestinales aiguës (Raphael *et al.*, 2008; Young et Chatwood, 2011; Chatwood *et al.*, 2012; Young, 2013; Harper *et al.*, 2015a, b). Il est établi que la pauvreté influe de diverses façons sur la vulnérabilité aux effets sur la santé des changements climatiques dans les collectivités côtières nordiques.

Au niveau des personnes et des ménages, la pauvreté accroît la sensibilité aux risques liés au climat en obligeant les gens à vivre dans des conditions sous-optimales et en accroissant le risque d'adoption de comportements malsains (Ford *et al.*, 2010c). On a déterminé que les logements inadéquats et bondés ainsi que l'insécurité en matière d'eau et d'alimentation, par exemple, sont des problèmes chroniques liés à la pauvreté et auxquels sont confrontées les collectivités côtières nordiques. Ces facteurs augmentent le risque de propagation de maladies infectieuses, favorisent la transmission des maladies respiratoires et gastro-intestinales et accroissent la susceptibilité au stress thermique. On s'attend à ce que ces résultats sanitaires liés au climat prennent de l'ampleur en raison des changements climatiques (Furgal et Seguin, 2006; Parkinson *et al.*, 2008; Harper, 2014). Des études révèlent que les gens qui ont des carences alimentaires seront particulièrement vulnérables aux changements en matière d'accessibilité, de disponibilité et de qualité des aliments

traditionnels et seront plus susceptibles à l'augmentation de l'incidence des maladies infectieuses sensibles au climat (Furgal et Seguin, 2006; Ford, 2009b; Hueffer *et al.*, 2013). La pauvreté nuit à l'aptitude des personnes et des ménages à gérer les impacts des changements climatiques sur la santé, puisque la pauvreté réduit les options d'adaptation aux changements qui comprennent l'accès aux aliments traditionnels, circonstances qui ont des répercussions bien documentées sur la sécurité alimentaire (Furgal et Seguin, 2006; Wolfe *et al.*, 2007; Furgal *et al.*, 2008; Turner et Clifton, 2009; Pearce *et al.*, 2010b).

De nombreuses études établissent la manière dont les processus historiques, comme la réinstallation dans des collectivités centralisées et la transformation des moyens de subsistance, de l'éducation et de la culture en l'espace d'une génération (Pearce, 2006; Ford *et al.*, 2010c; Cameron, 2012; Ford *et al.*, 2013a; Wolf *et al.*, 2013), ont une incidence sur le niveau de vulnérabilité actuel des sociétés autochtones nordiques aux effets des changements climatiques sur la santé. Par exemple, on a démontré que les problèmes de santé mentale constatés chez les chasseurs inuits en réaction à l'incapacité croissante de chasser en raison des conditions de glace changeantes reflètent non seulement la diminution de la capacité de subvenir aux besoins alimentaires de la famille, mais également une perte de l'identité et des pratiques de subsistance culturelles (étude de cas 5; Pearce *et al.*, 2010b; Cunsolo Willox *et al.*, 2012; Cunsolo Willox *et al.*, 2013b).

ÉTUDE DE CAS 5

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LA SANTÉ AU NUNATSIAVUT

Des études au Nunatsiavut, à Terre-Neuve-et-Labrador, permettent de comprendre les impacts des changements climatiques sur la santé mentale et les maladies hydriques. Les changements climatiques causent déjà des effets sur l'état de la santé mentale et du bien-être (Cunsolo Wilcox *et al.*, 2012, 2013a, c, 2015). La combinaison des changements rapides dans les régimes climatiques, de la formation et l'étendue de la glace de mer, de la quantité de neige qui tombe et de la température de surface vient perturber la capacité de se déplacer de façon sécuritaire sur le territoire pour chasser, trapper, récolter et se rendre à des cabanes. Puisque le territoire est essentiel et fondamental à la santé mentale et au bien-être, ces perturbations ont des impacts sur la santé mentale par le biais de plusieurs vecteurs interconnectés, entre autres :

- de fortes réactions émotionnelles comme l'anxiété, la dépression, le deuil, la colère et la tristesse;
- de stress familial accru du fait d'être confiné dans des maisons souvent bondées et d'être incapable de profiter de temps en famille sur le territoire;
- d'augmentation possible de la consommation de drogues et d'alcool et des pensées suicidaires en raison des perturbations des moyens de subsistance, d'impacts sur le sentiment d'identité, de perte de l'estime de soi ainsi que de tristesse profonde et de dépression du fait de ne plus pouvoir parcourir le territoire et de devoir passer plus de temps dans la collectivité sans activité utile ou possibilité d'emploi;
- d'accroissement ou d'amplification des sources antérieures ou permanentes de stress et de détresse, y compris le traumatisme intergénérationnel induit par les pensionnats et les réinstallations forcées, la perte du savoir et des activités traditionnelles et les impacts sur le sentiment d'identité.

D'autres études portent sur la manière dont les changements climatiques peuvent accroître le risque de maladies hydriques dans les collectivités côtières nordiques. Dans beaucoup de petites collectivités, certains résidents préfèrent boire l'eau non traitée des ruisseaux lorsqu'ils parcourent le territoire, lorsqu'ils sont à leur cabane ou lorsqu'ils sont dans la collectivité. Un projet communautaire coopératif s'est penché sur la relation entre les régimes climatiques (en particulier les pluies et la fonte des neiges), la qualité de l'eau et les diarrhées et vomissements à Nain et Rigolet, à Terre-Neuve-et-Labrador (Harper *et al.*, 2011a, b). Les collectivités ont conçu conjointement des plans de surveillance environnementale (2005 à 2008) qui comprenaient la réalisation de tests microbiens sur l'eau des ruisseaux aux endroits où les membres de la collectivité prélevent couramment de l'eau non traitée pour boire. Les résultats ont révélé que l'augmentation des pluies et de la fonte des neiges était étroitement liée à l'augmentation des concentrations d'*Escherichia coli* (*E. coli*) et des concentrations

totales de coliformes dans l'eau non traitée des ruisseaux, et qu'entre deux et quatre semaines après de fortes pluies ou une fonte rapide des neiges, on remarquait une augmentation marquée du nombre de visites à la clinique aux fins de traitement de cas de diarrhée ou de vomissement.

Dépendance à l'égard de l'environnement :

Beaucoup de collectivités côtières nordiques entretiennent des liens étroits avec la terre, la mer, la glace et les ressources environnementales locales pour leur subsistance, leur culture, leur alimentation et leur bien-être, ce qui accroît leur sensibilité aux risques liés au climat. Les impacts liés aux changements climatiques sur les sentiers de chasse (section 3.1.2) et les habitudes migratoires de la faune restreignent l'accès et la disponibilité des aliments traditionnels prélevés dans la nature (Krupnik et Jolly, 2002; Wesche et Chan, 2010; Kunuk et Mauro, 2011; Ford *et al.*, 2012a). Puisque les aliments traditionnels sont souvent transportés et stockés à l'extérieur selon des pratiques traditionnelles, l'augmentation de la température peut également accroître le risque de maladies alimentaires (Furgal *et al.*, 2008; Parkinson et Berner, 2009; Parkinson et Evengard, 2009). Le prélèvement et la consommation de glace et d'eau de surface non traitées, une pratique traditionnelle dans de nombreuses régions, peut accroître le degré d'exposition à des pathogènes d'origine hydrique que les changements climatiques risquent d'aggraver (Martin *et al.*, 2007; Harper *et al.*, 2011a, b). Les fortes pluies et la fonte rapide des neiges ont été liées à l'augmentation des concentrations d'*E. coli* et du nombre de maladies connexes du fait de la consommation d'eau de boisson non traitée (étude de cas 5; Harper *et al.*, 2010, 2011a, b).

Les résidents des collectivités côtières nordiques sont en outre exposés à diverses zoonoses (maladies infectieuses transmises aux humains par contact direct avec des espèces animales hôtes) par de l'eau ou de la nourriture contaminée et par des insectes ou des tiques vecteurs. Les Canadiens du nord sont particulièrement vulnérables en raison de la consommation et de la préparation d'aliments traditionnels (Proulx *et al.*, 2002; Gajadhar *et al.*, 2004; Simon *et al.*, 2011). Ainsi par exemple, la consommation de viande de mammifère marin crue (p. ex. le phoque et le morse) augmente le risque de maladies parasitaires comme la trichinose et la toxoplasmose. On croit que la proportion d'animaux infectés est faible, mais la pratique de partage communautaire de la viande des mammifères marins chassés augmente l'ampleur des effets que peut avoir chaque animal infecté. La proximité des chiens de chasse et de traîneau augmente le risque de zoonoses canines, dont la rage et un éventail d'endoparasites (Jenkins *et al.*, 2011). Les zoonoses sont sensibles aux changements climatiques, lesquels ont une incidence sur l'abondance, la migration et le comportement des animaux porteurs, la survie et l'abondance des vecteurs, la survie des pathogènes à l'extérieur de l'hôte de même que la phénologie saisonnière des événements du cycle de vie. Les effets possibles des changements climatiques sur la transmission des zoonoses dans le nord demeurent mal connus, puisque l'écologie des zoonoses et les interactions humaines avec ces dernières n'ont pas fait l'objet de nombreuses études.

Savoir traditionnel et culture : Le « savoir traditionnel » des populations autochtones nordiques a été identifié comme un facteur de protection contre les impacts sur la santé des changements climatiques (Furgal et Seguin, 2006; Ford et al., 2010c) et joue un rôle essentiel dans la gestion du risque sanitaire lié au climat (Ford et al., 2014b). Les compétences et les connaissances liées au territoire incluses dans le savoir traditionnel aident les collectivités côtières nordiques à gérer les dangers posés par la chasse, les déplacements et les conditions climatiques extrêmes dans un climat sans cesse sujet à des changements (Ford et al., 2006a; Pearce et al., 2010a; Aporta, 2011; Gearheard et al., 2011; Heyes, 2011). Des processus à long terme de changement culturel mènent à l'apparition de nouvelles vulnérabilités associées à un affaiblissement des systèmes de savoir traditionnel (Furgal et Seguin, 2006; Ford et al., 2008; Ford et al., 2010b). Par exemple, la réduction de la transmission par les aînés des connaissances culturelles et des compétences liées au territoire connexes aux plus jeunes générations, tels qu'en font foi des travaux avec les communautés inuites, a réduit le nombre de possibilités « d'apprentissage » environnemental et pourrait contribuer à l'augmentation du nombre de blessures accidentelles chez les jeunes participant à des activités sur le territoire, ce qui aggrave les impacts des changements climatiques (Pearce et al., 2010a).

3.3 AFFAIRES ET ÉCONOMIE

Les caractéristiques des économies nordiques et la nature du développement économique auront une incidence sur les impacts des changements climatiques à venir. De nouvelles possibilités de développement économique peuvent donner accès à des ressources en liquide et aider à réduire la pauvreté qui est au cœur de la vulnérabilité à de nombreux risques liés au climat. Le développement économique pourrait également éroder les caractéristiques qui sous-tendaient, du point de vue historique, la capacité d'adaptation dans les collectivités côtières nordiques, y compris les réseaux de partage, le capital social, la souplesse dans l'utilisation des ressources et les systèmes de savoir traditionnel. Il pourrait en outre accroître davantage le stress imposé aux ressources fauniques, qui sont déjà touchées par les changements climatiques (Wenzel, 1995a, 2005; Ford et al., 2006a, b; Wenzel, 2009). Des facteurs externes comme les prix du marché, l'accès au transport, la politique gouvernementale et la réglementation internationale auront également une influence sur l'impact des changements climatiques sur les affaires et l'économie nordiques (Keskitalo, 2008a, b). Peu d'études se penchent sur la manière dont ces grandes influences touchent la vulnérabilité et l'adaptation dans la région côtière nordique (Cameron, 2012; Ford et al., 2012b). La présente section examine les possibilités et les risques que présentent les changements climatiques au chapitre des activités économiques officielles, y compris le tourisme, l'exploitation minière, le pétrole et le gaz et les pêches, de même qu'au niveau de la durabilité des collectivités.

Les possibilités sont associées principalement à la viabilité accrue du transport maritime découlant de la réduction de la couverture de glace de mer. Certains modèles prévoient que des navires non renforcés pour la glace devraient pouvoir traverser le milieu de l'océan Arctique d'ici 2040 (Smith et Stephenson, 2013). Cela augmente les possibilités de tourisme en paquebot de croisière, avec les possibilités

potentielles afférentes d'emploi et de production de recettes (encadré 5; Stewart et al., 2007, 2010). La société Makivik du Nunavik explore la possibilité de partenariat avec le Nunavut et le Nunatsiavut en vue de promouvoir l'industrie des croisières naissante (Fugmann, 2009), même si on ne s'attend pas à ce que toutes les collectivités en profitent. On prévoit un déclin éventuel des croisières dans la baie d'Hudson à mesure que les espèces comme l'ours polaire se déplaceront vers le nord (Stewart et al., 2010). L'absence d'une autorité centrale habilité à régir l'industrie des croisières dans le nord ainsi que de lignes directrices concernant les opérations et la gestion à mesure que l'industrie s'étend à des régions en grande partie inexplorées pourrait accroître le risque d'accidents (Stewart et Dawson, 2011; Dawson et al., 2014). L'augmentation prévue du transport maritime de marchandises dans l'Arctique canadien soulève des préoccupations semblables. Avec la diminution de la glace de mer, les navires de charge peuvent négocier le passage du Nord-Ouest et les chenaux entre les îles dans le but d'approvisionner les activités nordiques liées aux ressources (exploration ou extraction des minéraux, du pétrole et du gaz) et les collectivités, et pour transporter les ressources extraites vers le sud. Cela augmenterait le nombre de navires exposés à des risques par la glace et d'autres dangers maritimes dans une région pour laquelle peu de cartes ont été dressées.

La durée accrue de la saison navigable découlant de l'évolution du climat accroît la viabilité des ports nordiques (étude de cas 2) et devrait profiter à la mise en valeur d'emplacements miniers futurs (Nuttall, 2008; Pearce et al., 2010a; Ford et al., 2011b; Stephenson et al., 2011). Les compagnies pétrolières sont intéressées à mettre en place de nouvelles plate-formes pétrolières extracôtières semblables à celles qui ont été érigées dans la mer de Beaufort (Callow, 2013). Des possibilités de nouvelles pêches commerciales pourraient éventuellement apparaître suite à un déplacement vers le nord de l'aire de répartition de la morue et d'autres espèces, et grâce à un accès amélioré et prolongé pour les navires (Barber et al., 2008; Fortier et al., 2008). Partout dans le Nord, de nombreux obstacles logistiques, réglementaires et financiers peuvent empêcher l'exploitation des possibilités à moins que des mesures d'adaptation ciblées ne soient adoptées, bien que cet aspect de la question n'ait pas fait l'objet d'une étude approfondie dans le cadre des études réalisées à date.

Les risques pour les affaires et l'économie dans la région de la côte Nord touchent principalement les impacts environnementaux et les impacts connexes sur l'économie de subsistance. Par exemple, l'inscription de l'ours polaire sur la liste des « espèces vulnérables » en raison des changements climatiques en vertu de l'*Endangered Species Act* (loi sur les espèces menacées) des États-Unis en 2008, et l'interdiction subséquente touchant l'importation des peaux d'ours polaire aux États-Unis, ont eu des répercussions pour le Nord canadien (McLoughlin et al., 2008; Dowsley, 2009b; Schmidt et Dowsley, 2010). Entre 1995 et 2008, les chasseurs de gibier trophée des États-Unis représentaient 70 % de tous les chasseurs sportifs au Nunavut (Dowsley, 2009b), s'avérant ainsi une source de revenu importante pour les chasseurs résidents. Ces revenus étaient utilisés à leur tour pour financer les activités de récolte, démarche qui illustre le couplage qui se produisait entre les activités économiques officielles et les activités de subsistance dans plusieurs petites collectivités côtières nordiques (Wenzel, 2009).

ENCADRÉ 5

TOURISME MARITIME

Les changements dans les régimes climatiques saisonniers et la diminution de la couverture de glace de mer ont rendu les eaux plus navigables dans tout l'Arctique canadien, ce qui a entraîné à son tour une croissance rapide du secteur du tourisme maritime (Stewart et al., 2010; Dawson et al., 2014; Pizzolato et al., 2014). La circulation des yachts privés et des navires de croisière commerciaux a augmenté de 110 et de 400 % respectivement entre 2005 et 2015. Le passage du Nord-Ouest est devenu le secteur à visiter le plus populaire, le nombre de traversées ayant augmenté de 70 % depuis 2006. On croit généralement que l'industrie du tourisme est bien placée pour profiter à court terme des changements climatiques. L'évolution du climat donne lieu à de nouveaux itinéraires de croisière dans l'Arctique et prolonge la saison des croisières, ce qui pourrait également profiter aux résidents locaux du fait d'une augmentation de l'emploi saisonnier. L'augmentation du tourisme pourrait également faire connaître et rendre accessibles la culture et les traditions inuites de même que promouvoir les arts historiques et contemporains.

Malgré les possibilités éventuelles, il y a d'importants risques liés au manque d'infrastructure de soutien, y compris des cartes marines complètes, des capacités de recherche et de sauvetage et d'autres services liés au tourisme. Certains croient que « ce n'est qu'une question de temps avant que nous ne soyons témoins d'un accident maritime majeur dans l'Arctique canadien [traduction] » (citation d'entrevue tirée de Dawson et al., 2014, p. 93–94.). Les conditions de glace de mer changeantes, y compris le vêlage d'îles de glace (des plate-formes de glace flottante) et de plus nombreux petits icebergs, rendent en fait la région de plus en plus dangereuse à naviguer (encadré 1; p. ex. Stewart et al., 2007; Pizzolato et al., 2014) malgré la perception répandue que la région est prête à faire des affaires. L'exploitation des possibilités et l'atténuation des risques exigeront des investissements dont l'objet sera d'appuyer le tourisme maritime (p. ex. cartes bathymétriques et infrastructures terrestres améliorées) et de renforcer la gestion de ce secteur en croissance rapide.

Les activités industrielles peuvent également avoir une incidence sur la prestation des services écosystémiques le long de la côte Nord (Clarke et Harris, 2003; Burek et al., 2008; AMAP, 2009). L'exploration et la mise en valeur des ressources naturelles dans les milieux marins et le transport maritime produisent du bruit sous-marin qui peut perturber les migrations des mammifères marins et accroître leur niveau de stress (Burek et al., 2008). Les activités industrielles peuvent en outre rejeter des contaminants comme le mercure et les polluants organiques persistants (POP) dans les milieux nordiques (Clarke et Harris, 2003). Ces rejets sont très préoccupants parce qu'ils se bioamplifient dans le réseau trophique et peuvent atteindre des concentrations potentiellement nuisibles pour la santé des écosystèmes et des humains (p. ex. concentrés dans les aliments récoltés; Janssen, 2006; Courtland, 2008; Tartu et al., 2013). Un développement industriel mal planifié peut entrer directement en conflit avec les activités de récolte, comme c'est arrivé à Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest, lorsqu'une compagnie pétrolière a installé son quai au lieu de pêche préféré de la collectivité et en a interdit l'accès aux résidents locaux (Carmack et Macdonald, 2008).

3.4 CULTURE ET ÉDUCATION

Chez les collectivités côtières nordiques, la culture est étroitement liée au milieu côtier et aux activités qu'il entretient (Leduc, 2006; Cunsolo Wilcox et al., 2013b, c). La « terre » est profondément liée à l'identité culturelle des Autochtones du Nord en particulier, et est considérée comme une source de santé et de bien-être. Même de subtiles modifications à la terre et à l'environnement peut avoir des répercussions sur les personnes, les collectivités et les cultures en nuisant à la capacité de mener des activités terrestres et d'accéder à des sites traditionnels, de même qu'en ayant une incidence sur la santé des espèces fauniques ayant une valeur culturelle. Le dégel du pergélisol, l'élévation du niveau de la mer et l'érosion côtière peuvent également avoir des impacts culturels lorsqu'ils se produisent sur des sites à valeur historique (p. ex. cimetières, camps éloignés; étude de cas 6). L'éducation sera également touchée par les changements climatiques puisque l'apprentissage traditionnel de même que la préservation et la promotion des valeurs traditionnelles sont étroitement liés aux activités terrestres, dont les changements climatiques rendent la pratique plus difficile (MacDonald et al., 2013).

ÉTUDE DE CAS 6

MENACES PESANT SUR LES RESSOURCES ET LES INFRASTRUCTURES HISTORIQUES DE L'ÎLE HERSCHEL, AU YUKON

L'île Herschel se trouve au large de la côte du Yukon dans la mer de Beaufort. Elle a été désignée lieu historique national par Parcs Canada en 1972 en raison de son importance à titre d'ancienne base de l'industrie de la chasse à la baleine, de son rôle dans l'affirmation de la souveraineté canadienne dans l'Arctique occidental et de sa situation de lieu de contact interculturel. L'établissement historique de Simpson Point, qui date de la période de la chasse à la baleine (1890 à 1908) et comprend les plus vieux bâtiments à charpente du Yukon de même que plusieurs sites archéologiques, est menacé par l'élévation du niveau de la mer et l'érosion côtière. L'élévation de la flèche ne dépasse pas 1,2 m, alors même une modeste hausse du niveau de la mer inonnerait la majeure partie de la flèche lors de phénomènes de niveau d'eau extrême.

En 1954, l'érosion côtière a déclenché une course archéologique contre la mer dans la foulée de laquelle les archéologues ont documentée les excavations sur le site « Washout ». Au moins neuf habitations d'hiver inuvaluites ont été perdues à la mer au cours des excavations. Le site démontre l'occupation continue de l'île Herschel depuis l'an 1200 de notre ère (Friesen, 2012). En 2007, l'île Herschel a été inscrite sur la liste du World Monuments Fund des 100 sites les plus menacés.

Afin d'éclairer les efforts visant la réduction des dangers et de prioriser les fouilles archéologiques, on a eu recours à des représentations numériques des traits de côte réalisées à partir de photographies aériennes historiques afin de déterminer le taux de déplacement du trait de côte et de prévoir la position du trait de côte dans 20 et 50 ans (figure 20; B. Radosavljevic *et al.*, 2015). En outre, des données altimétriques à très haute résolution (<1 m) tirées d'un levé aérien effectué par détection et télémétrie par ondes lumineuses (LiDAR) ont servi à produire une carte illustrant la susceptibilité aux inondations pour tout emplacement de la pointe Simpson. Dans la partie sud de la pointe Simpson, le trait de côte a à la fois reculé et avancé, le taux de changement annuel pour la période de 1952 à 2011 variant entre 0,4 m/an d'érosion à 1,1 m/an d'accumulation. La partie nord de la pointe Simpson est en majeure partie soumise à l'érosion et un recul soutenu du trait de côte menace des bâtiments historiques. Les inondations côtières représentent une menace croissante et plus persistante en raison du fait que l'élévation du niveau de la mer et la fréquence des tempêtes entraîneront une augmentation de la fréquence des inondations.

Compte tenu de l'éloignement et des coûts de construction connexes dans la zone d'étude, les mesures standard de réduction

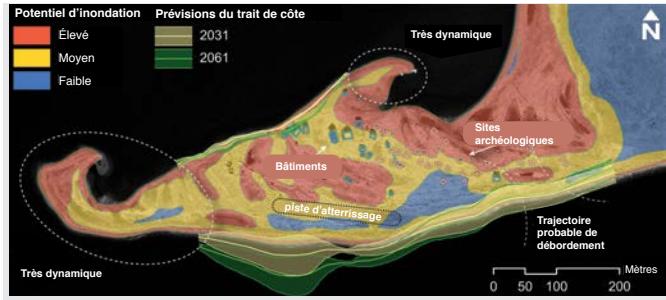


FIGURE 20 : Carte des géorisques côtiers du site de l'établissement historique de l'île Herschel (tiré de B. Radosavljevic *et al.*, 2015). Les traits de côte prévus et les zones d'inondation possible sont superposés à une image satellite datant de 2011 et montrant l'emplacement des bâtiments et des sites archéologiques sur la flèche.

des dangers, comme les ouvrages longitudinaux ou la recharge de la plage, ne sont pas viables. Jusqu'à maintenant, plusieurs bâtiments ont été éloignés de la grève. Les stratégies d'adaptation futures pourraient comprendre une combinaison de déplacement et d'élévation des bâtiments de l'ère de la chasse à la baleine qui courent un grand risque et de priorisation des fouilles archéologiques en fonction des attitudes des Inuvaluit à l'égard de l'utilisation des terres, des sites d'enterrement ou dotés d'une valeur spirituelle ainsi que des sites historiques et culturels.

On a eu recours à des composantes particulières de la culture autochtone nordique, principalement le savoir traditionnel, afin de documenter et de caractériser les changements climatiques qui se produisent le long des côtes. Ces renseignements peuvent alors être incorporés dans les évaluations des impacts, de l'adaptation et de la vulnérabilité (section 2.5; Riedlinger et Berkes, 2001; Fox, 2003; Kushwaha, 2007; Laidler et Elee, 2008; Laidler et Ikummaq, 2008; Laidler *et al.*, 2009). L'évolution des conditions de glace et des conditions climatiques portent déjà atteinte à la capacité des habitants du nord de participer à des activités terrestres, ce qui a des répercussions sur leur santé et leur bien-être (section 3.2). Les collectivités côtières nordiques réagissent de différentes manières à ces changements, signe qu'elles font preuve d'une importante capacité d'adaptation (encadré 6; p. ex. Ford *et al.*, 2010a; Gearheard *et al.*, 2010; Pearce *et al.*, 2010b; Sayles et Mulrennan, 2010; Lemelin *et al.*, 2012; Tam et Gough, 2012; Tam *et al.*, 2013). Les tendances sociétales à plus long terme bouleversent le lien entre le climat et la culture. À Sachs Harbour, aux Territoires du Nord-Ouest, par exemple, l'imposition de règlements et de quotas de chasse, la perturbation des lieux de chasse liée à la réinstallation de même que les nouvelles technologies ont miné les stratégies d'adaptation traditionnelles et créé de nouveaux risques, en vertu de quoi la vulnérabilité aux changements climatiques a augmenté (Berkes et Jolly, 2002). Des études ultérieures réalisées dans tous les établissements côtiers nordiques ont confirmé ces conclusions, en soulignant que les jeunes sont particulièrement à risque en raison d'un affaiblissement de la capacité de transmission des compétences et des connaissances liées au territoire (Ford *et al.*, 2010b).

ENCADRÉ 6

RÉACTION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DES CHASSEURS CRIS DE WEMINDJI

Depuis des générations, les Cris Wemindji de la baie James modifient leur paysage pour composer avec les changements environnementaux rapides qui s'y produisent (Sayles, 2008; Sayles et Mulrennan, 2010). Pour ce faire, ils construisent, entre autres, des digues dans les terres humides et coupent des couloirs forestiers à flanc de colline dans le but de récolter des oies. Ces digues et ces couloirs peuvent mesurer de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres de longueur et servent à ralentir les changements à l'habitat attribuables au soulèvement des terres découlant de l'ajustement isostatique glaciaire (voir le chapitre 2) ainsi que des changements climatiques. Les Cris tentent de ralentir les changements, mais le font dans le cadre d'un éthos plus vaste d'adaptabilité qui cherche à établir un équilibre entre la résistance au changement et la souplesse. Au moyen de digues et de couloirs, ils entretiennent des territoires de chasse connus et productifs. Cet entretien augmente la prévisibilité de la ressource et permet son utilisation intergénérationnelle, ce qui renforce l'identité culturelle et permet l'apprentissage de l'histoire du lieu. Les Cris restent également à l'affût des changements de nature plus générale du paysage susceptibles de rendre les tentatives d'entretien inutiles, et ils déménagent les territoires de chasse lorsque cela se produit. Confrontés à de nouveaux changements environnementaux, ils font des expériences avec de nouvelles techniques pour attirer les oies comme, par exemple, le recours au brûlage réglementé. Certains chasseurs construisent également de petites routes dans des territoires éloignés afin de surveiller les ressources de manière à pouvoir équilibrer l'importance culturelle et économique de la chasse avec la participation à l'économie mondiale.

Les réseaux de partage, qui supposent la distribution aux parents et aux gens dans le besoin, ont été touchés par la diminution de la disponibilité et de l'accessibilité des animaux. Ces effets sont aggravés par les changements de nature plus générale touchant les sociétés autochtones nordiques et associés à la mise en place d'une économie rémunérée et à la modernisation (Wenzel, 1995b, 2009). D'autres répercussions culturelles sur les pratiques peuvent découler de la possibilité d'un risque accru de la présence de contaminants dans les aliments traditionnels en raison des changements climatiques (Donaldson et al., 2010). La perception que les aliments sont moins sûrs et moins désirables peut avoir une incidence sur les pratiques de consommation ou créer de l'anxiété en rapport avec leur consommation. Les changements climatiques portent également atteinte au sentiment d'appartenance dans les collectivités côtières nordiques en remettant en question les façons traditionnelles de connaître et de changer

les caractéristiques du territoire et de la glace, soit des aspects importantes de la toponymie inuite (Laidler et Elee, 2008; Laidler et Ikummaq, 2008; Bravo, 2009; Forbes, 2011).

3.5 RÉCOLTE DE SUBSISTANCE

Les activités de récolte de subsistance, y compris la pêche, le trappage et la récolte de baies, ont une grande importance économique, alimentaire et culturelle pour les collectivités côtières nordiques. Cette étroite association avec le milieu naturel crée des sensibilités uniques aux changements rapides du climat. Les changements climatiques constatés par les Autochtones comprennent l'engelacement tardif et le déglacement hâtif de la glace, les conditions de glace plus dynamiques, les régimes éoliens et climatiques changeants, l'augmentation de l'intensité des ondes de tempête, les changements altérant le caractère des baies, le réchauffement des températures et les changements dans les régimes migratoires des animaux (Gearheard et al., 2006; Tremblay et al., 2006; Laidler et Ikummaq, 2008; Laidler et al., 2009; Cunsolo Willox et al., 2012; Hori et al., 2012; Kokelj et al., 2012; MacDonald et al., 2013; Royer et Herrmann, 2013; Royer et al., 2013; Tam et al., 2013). Des études ont cherché à intégrer les observations autochtones et les données obtenues à l'aide d'instruments sur les conditions changeantes (Meier et al., 2006; Gearheard et al., 2010; Weatherhead et al., 2010; Ford et al., 2013b; Royer et al., 2013) et, du même fait, ont mis les observations autochtones à la disposition d'un public plus vaste (section 2.5; p. ex. Kunuk et Mauro, 2011; Cunsolo Willox et les collectivités du Nunatsiavut, 2014).

La gestion adaptative des ressources fauniques est un enjeu important du secteur de la récolte. Les impacts liés aux changements climatiques ont déjà été documentés (Hovelsrud et al., 2008; Post et al., 2013), en mettant particulièrement l'accent sur l'ours polaire et le phoque annelé, dont la stabilité des populations est préoccupante compte tenu des régimes de glace de mer changeants (Castro de la Guardia et al., 2013; Hamilton et al., 2014). Il est possible que certains cadres de gestion existants ne soient pas aptes à composer avec les conditions environnementales qui changent rapidement, ce qui réduit la souplesse avec laquelle les collectivités ont pu gérer, du point de vue historique, les fluctuations dans l'accessibilité et la disponibilité de la faune (Berkes, 1999; Berkes et al., 2003; Berkes et Armitage, 2010; Armitage et al., 2011; Dale et Armitage, 2011). Les structures de cogestion subissent des pressions croissantes de la part des collectivités nordiques, qui expriment leur insatisfaction quant à des allocations de quotas qu'elles estiment contraire aux connaissances traditionnelles sur les stocks fauniques, et des organismes non gouvernementaux (ONG) internationaux qui se préoccupent de la viabilité à long terme des populations animales eu égard aux pressions exercées par les changements climatiques et la chasse. Des travaux récents ont commencé à examiner les possibilités d'améliorer les régimes de gestion et d'atténuer la polarisation actuelle des points de vue, en mettant particulièrement l'accent sur l'ours polaire et le narval (Clark et al., 2008; Dowsley et Wenzel, 2008; Dowsley, 2009a). Il existe en outre des possibilités de mise en œuvre de politiques et de mesures à différentes échelles afin de faciliter l'adaptation en matière de récolte de subsistance (tableau 6; p. ex. Ford et al., 2010b; Wesche et Chan, 2010; Boyle et Dowlatbadi, 2011).

TABLEAU 6 : Synthèse des principales possibilités proposées dans la littérature en matière d'adaptation dans le secteur de la récolte de subsistance.

Mesure d'adaptation	Vulnérabilité abordée	Avantages/commentaires
Soutien de la personne faisant la récolte	Accès aux ressources financières défini comme un obstacle majeur à l'adaptation aux impacts des changements climatiques (p. ex. utiliser un nouvel équipement, apporter de l'équipement de sécurité, mettre en valeur des sentiers nouveaux mais plus longs; Ford <i>et al.</i> , 2006b; Pearce, 2006; Ford, 2009a, b; Pearce <i>et al.</i> , 2010b; Ford <i>et al.</i> , 2013b)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Viabilité accrue du secteur de la récolte des ressources ▪ Aptitude à acheter l'équipement nécessaire ▪ Renforcement des programmes existants
Cogestion des ressources fauniques	Les régimes de gestion de la faune reconnus comme une entrave à l'exercice par les collectivités de souplesse en matière d'adaptation aux impacts des changements climatiques sur la disponibilité, la santé et le moment de la migration de la faune (Berkes et Jolly, 2002; Berkes <i>et al.</i> , 2005; Dale et Armitage, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atténuation des conflits au sein des collectivités et entre les collectivités ainsi que le gouvernement et les scientifiques ▪ Gestion de la faune plus efficace et plus réussie
Formation sur les compétences liées au territoire	Affaiblissement de la transmission du savoir traditionnel et des compétences liées au territoire, ce qui nuit à l'aptitude des plus jeunes générations à utiliser de manière sécuritaire la terre compte tenu de l'évolution du climat (Ohmagari et Berkes, 1997; Berkes et Jolly, 2002; Ford <i>et al.</i> , 2006a; Gearheard <i>et al.</i> , 2006; Pearce <i>et al.</i> , 2011a)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Préservation des compétences et du savoir ayant une importance culturelle ▪ Intérêt accru pour la récolte chez les jeunes ▪ Amélioration de la sécurité pendant la récolte et les déplacements ▪ Objectif stratégique important dans toutes les régions inuites
Recherche et sauvetage	Dangers croissants dans les activités terrestres, tel qu'en fait foi le signalement par les collectivités d'un plus grand nombre d'accidents, une tendance que les changements climatiques devrait accélérer; nécessité d'assurer une capacité convenable de services de recherche et de sauvetage (Pearce <i>et al.</i> , 2011a, 2012; Pennesi <i>et al.</i> , 2012)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Amélioration de la capacité de recherche et de sauvetage
Amélioration du système alimentaire	La saison d'eau libre prolongée et l'augmentation des déplacements par embarcation augmentent les risques liés aux activités nautiques (Giles <i>et al.</i> , 2013)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vise la grande insécurité alimentaire dans toutes les régions inuites
Formation à la nage	La saison d'eau libre prolongée et l'augmentation des déplacements par embarcation augmentent les risques liés aux activités nautiques (Giles <i>et al.</i> , 2013)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faibles niveaux de formation à la nage dans les collectivités côtières nordiques, dans tous les groupes d'âge
Amélioration des prévisions météorologiques	Amélioration des détails spatiaux et de l'exactitude des prévisions météorologiques et amélioration de l'utilisation des prévisions de façon à mieux assurer la sécurité des gens qui doivent se déplacer (Ford <i>et al.</i> , 2010b; Pennesi <i>et al.</i> , 2012)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carence rapportée au niveau de l'exactitude des prévisions

4 PLANIFICATION DE L'ADAPTATION DANS LE NORD

La section précédente traitait des processus ayant une incidence sur la vulnérabilité des collectivités côtières nordiques et donnait des exemples de mesures d'adaptation ayant été prises. La présente section porte sur l'évolution des mesures et des programmes d'adaptation des secteurs public et privé dans la région de la côte Nord. Puisque l'absence de littérature évaluant le paysage actuel en matière d'adaptation empêche l'évaluation de l'efficacité des mesures et des programmes en ce qui a trait à la réduction de la vulnérabilité et l'amélioration de la résilience, on met ici l'accent sur le processus d'adaptation. La dernière partie de la section aborde les lacunes actuelles au niveau des connaissances qui restreignent l'adaptation dans la région de la côte Nord.

4.1. ÉMERGENCE DE L'ADAPTATION

L'émergence, au cours de la dernière décennie, de l'adaptation en tant que thème important des recherches et des politiques a exigé la création de nombreuses initiatives et de nombreux programmes fédéraux d'adaptation mettant l'accent sur le Nord, dont la totalité comporte une importante dimension côtière. Il s'agit entre autres d'ArcticNet (2003 à 2018), de l'Année polaire internationale (2007 à 2011), du Centre Nasivik pour la santé des Inuits et les changements environnementaux (2003 à 2014), du Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord (en cours), de l'Initiative des écosystèmes du Nord (1998 à 2008) de même que des programme conçus expressément en vue de faire participer les habitants du Nord à l'évaluation des risques posés par les changements climatiques et à la détermination des options d'adaptation offertes par Affaires autochtones et du Nord Canada, Santé Canada, l'Agence de santé publique du Canada, Ressources naturelles Canada, le Conseil canadien des normes et Transports Canada (encadré 7; Santé Canada, 2009; Affaires indiennes et du Nord canadien, 2010; Ford *et al.*, 2011a; McClymont Peace et Myers, 2012).

ENCADRÉ 7

PROGRAMMES NATIONAUX D'ADAPTATION

De nombreux ministères fédéraux ont élaboré des programmes dans le but explicite de faire progresser l'adaptation aux changements climatiques dans le nord du Canada, y compris les régions côtières. Cet encadré présente trois de ces initiatives.

Le Programme d'adaptation aux changements climatiques à l'intention des collectivités autochtones et nordiques, exécuté par Affaires autochtones et du Nord Canada, a été conçu en vue d'aider les collectivités à se préparer aux changements climatiques et à y réagir, entre autres la dégradation du pergélisol, l'érosion côtière, les changements dans la structure et la fonction des écosystèmes, les changements dans la qualité et la quantité d'eau et de glace ainsi que les phénomènes météorologiques extrêmes. En s'appuyant sur les programmes d'adaptation aux changements climatiques du Ministère qui ont cours depuis 2001, le Programme a permis de réaliser la planification nécessaire pour garantir que l'infrastructure communautaire soit conçue et entretenue de manière à composer avec l'évolution du climat. Le programme a également fourni aux collectivités côtières, aux gouvernements et aux organismes autochtones et nordiques des renseignements, des conseils, un soutien et des partenariats pertinents au niveau communautaire susceptibles de les aider à évaluer les vulnérabilités et les possibilités liées aux changements climatiques en matière d'infrastructure, de sécurité alimentaire et de gestion des urgences, de même qu'à élaborer des plans et des stratégies.

Le Programme sur les changements climatiques et l'adaptation du secteur de la santé (PCCASS) de Santé Canada a été élaboré en vue d'aider les collectivités nordiques des Premières nations et inuites à réaliser des recherches sur les effets des changements climatiques sur la santé (McClumont Peace et Myers, 2012). Les collectivités déterminaient les champs de recherche qui leur étaient les plus importants, mettaient au point les outils et les méthodes d'adaptation, incorporaient le savoir scientifique, traditionnel ou local et faisaient part à leurs membres des résultats qui en ressortaient. Le programme travaillait avec les gouvernements et les organismes nordiques afin d'accroître leurs connaissances et leur capacité de mettre au point des stratégies d'adaptation en matière de santé aux niveaux communautaire, régional et national. Depuis 2008, le PCCASS a financé plus de 50 projets de recherche communautaires qui, dans certains cas, ont mené à l'élaboration de stratégies locales d'adaptation. On compte au nombre des résultats du programme des produits vidéo et PhotoVoice faisant participer les jeunes et les aînés, des réseaux communautaires de surveillance et de communication de l'état de la glace de même que divers produits d'information comme des fiches de renseignements sur la sécurité sur terre, sur l'eau et sur la glace, sur la sécurité de l'eau de boisson, sur la sécurité et la salubrité alimentaires et sur la médecine traditionnelle.

L'Initiative de normalisation des infrastructures du Nord, appuyée par le Conseil canadien des normes, a mis au point un certain nombre de normes nationales qui s'appliquent directement aux infrastructures terrestres des collectivités côtières nordiques. En s'appuyant sur les lignes directrices techniques existantes concernant la prise en considération des changements climatiques futurs lors de la construction sur le pergélisol (Auld et al., 2010), les nouvelles normes portent sur 1) les fondations à thermosiphon (Groupe CSA, 2014a); 2) l'atténuation des effets de la dégradation du pergélisol sur les fondations de bâtiments (Groupe CSA, 2014b); 3) la gestion du risque lié aux changements de la charge nivale changeante pour les bâtiments du Nord canadien (Groupe CSA, 2014c); et 4) la planification, la conception et l'entretien de systèmes de drainage dans les collectivités nordiques (Groupe CSA, 2015). Une cinquième norme concernant l'étude géotechnique sur place des fondations d'un bâtiment installées dans le pergélisol est en cours d'élaboration (Bureau de normalisation du Québec, 2015; Conseil canadien des normes, 2015).

Aux niveaux régional et territorial, les gouvernements du Nunavut et du Yukon ont manifesté leur intention de promouvoir l'adaptation aux changements climatiques en publiant leur stratégie en matière de changements climatiques en 2003 et en 2006 respectivement (Gouvernement du Nunavut, 2003; Government of Yukon, 2009). Ces stratégies ont été mises à jour au moyen d'une stratégie d'adaptation officielle en 2011 pour le Nunavut et en 2012 pour le Yukon (Gouvernement du Nunavut, 2011; Government of Yukon, 2012). Le gouvernement du Nunavut a en outre créé le Centre sur les changements climatiques du Nunavut. Un rapport publié par le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (Government of the Northwest Territories, 2008) lançait un appel

pour l'élaboration d'outils et de pratiques exemplaires dans le but d'aider les collectivités et les gouvernements à mettre au point une planification à long terme de l'adaptation (encadré 8). Le rapport dressait également une liste des mesures d'adaptation possibles, allant de l'application de protocoles de gestion des risques dans le cadre d'évaluations de la vulnérabilité de l'infrastructure à la prise en considération des changements climatiques lors de la construction de bâtiments, de routes et de ponts permanents, de même que l'utilisation de thermosiphons pour entretenir le pergélisol sous les fondations des bâtiments. Les effets de la dégradation du pergélisol sur l'infrastructure bâtie incitent le Nunavik à prendre des mesures d'adaptation (encadré 9; L'Héault et al., 2013).

ENCADRÉ 8

ADAPTATION DE L'INFRASTRUCTURE DANS LES TERRITOIRES DU NORD-OUEST

Les gouvernements, les sociétés et les collectivités entreprennent de nombreuses stratégies en vue d'adapter l'infrastructure bâtie à la dégradation du pergélisol et à l'érosion des côtes dans les Territoires du Nord-Ouest. Les mesures employées par la Société d'habitation des Territoires du Nord-Ouest (SHTNO) pour adapter la construction des logements comprennent les modifications et les réparations aux fondations sur pieux menacées par le dégel du pergélisol (c.-à-d. le mouvement du sol et l'accumulation d'eau accrue sous les bâtiments et autour d'eux) de même que l'utilisation de nouveaux systèmes de fondation conçus de façon à mieux réagir au stress supplémentaire causé par le déplacement du sol sous les bâtiments et mieux l'absorber (Decker *et al.*, 2008). En outre, des concepts techniques mis en œuvre dans l'ensemble du territoire ont recours à des thermosiphons (conçus afin de garder le pergélisol froid au moyen d'un échange de chaleur passif) et à d'autres technologies pour préserver le pergélisol, et les recommandations en matière de conception ne cessent de changer (p. ex. utiliser des installations à pieux plus profonds et de plus gros diamètre et utiliser davantage d'enduits antiadhésifs là où les fondations sont le plus susceptibles au cycle annuel de gel-dégel). La SHTNO s'adapte également à une plus courte saison de routes d'hiver en faisant commencer les contrats d'approvisionnement des fournisseurs jusqu'à un mois plus tôt qu'auparavant (Decker *et al.*, 2008). Le temps supplémentaire permet aux fournisseurs de réunir les marchandises à livrer, d'ajuster les calendriers de transport de charge à la saison routière plus courte et de se préparer à la possibilité de limites de poids réduites sur les routes. En outre, le Ministère des Transports s'affaire à réhabiliter les bandes d'atterrissement compromises par le dégel du pergélisol à Inuvik (Decker *et al.*, 2008).

ENCADRÉ 9

ADAPTATION DE L'INFRASTRUCTURE COMMUNAUTAIRE AU NUNAVIK

Plusieurs collectivités côtières du Nunavik, dont Salluit, Puvirnituq, Akulivik, Kangirsuk et Tasiujaq, ont participé à un projet de surveillance et de cartographie du pergélisol dont l'objet était d'éclairer la planification en matière d'utilisation des terres et du développement futurs (Furgal et Laing, 2013; L'Héault *et al.*, 2013). Les résultats comprenaient des recommandations sur l'endroit où placer les nouvelles infrastructures bâties et sur les secteurs développés qui ont besoin de réparations ou en auront besoin à l'avenir. On a également formulé des recommandations sur la manière d'adapter les lignes directrices en matière de conception et de construction pour mieux contrer les effets de la dégradation du pergélisol. Un exemple est la préparation des dalles en vue de la construction de nouveaux bâtiments 1 à 2 ans d'avance pour permettre au sol de se stabiliser et éviter les déplacements dommageables du sol une fois le bâtiment construit. Des ingénieurs ont offert aux membres des collectivités une formation sur la manière de construire des dalles de façon à minimiser le risque d'affaiblir le pergélisol (Administration régionale Kativik, 2012; L'Héault *et al.*, 2013). Un autre exemple est le projet pilote touchant la bande d'atterrissement de Kuujjuaq afin de mettre à l'essai l'utilisation de matériaux de pavage plus réfléchissants comme moyen de réduire la température du sol, de même que les projets pilotes à Kuujjuarapik et Aupaluk visant à mettre à l'essai l'entretien des ponceaux en fonction des changements dans les schémas du cycle de gel-dégel de même que du dégel du pergélisol (Administration régionale Kativik, 2012).

La collaboration et l'échange de connaissances au niveau territorial se font grâce au Partenariat panterritorial pour l'adaptation (*Pan-Territorial Adaptation Partnership*, www.northernadaptation.ca). Guidé par « Une vision nordique et la stratégie pour l'adaptation » [traduction] (Governments of Nunavut, Northwest Territories and Yukon, 2011), le partenariat vise l'échange des connaissances et de la compréhension en ce qui concerne les changements climatiques entre les partenaires locaux, territoriaux, nationaux, autochtones et internationaux afin d'élaborer des activités coopératives. L'initiative met l'accent sur le fait de « travailler ensemble sur les changements climatiques, en portant une attention toute particulière sur les mesures d'adaptation pratiques » (Governments of Nunavut, Northwest Territories and Yukon, 2011, p. 7), avec pour priorités communes des gouvernements territoriaux la souveraineté et les collectivités durables, l'adaptation aux changements climatiques et les relations circumpolaires. L'initiative fait participer les collectivités, les universités, les spécialistes et les bailleurs de fonds de tous les niveaux.

Les organismes autochtones ont également souligné l'importance de l'adaptation. L'adaptation est une composante importante des travaux du *Qaujisaarvingat inuit* (Centre de connaissances inuites) de l'Inuit Tapiriit Kanatami. La Nunavut Tunngavik Incorporated, qui supervise la mise en œuvre de l'Accord sur les revendications territoriales du Nunavut au nom des bénéficiaires inuits, a organisé des ateliers afin de discuter de l'adaptation aux changements climatiques et de définir les secteurs d'intervention prioritaires en 2005 (Nunavut Tunngavik Incorporated, 2005); il a en outre dirigé la rédaction d'un ouvrage terminologique sur le climat en anglais, en inuktitut et en inuinnaqtun (Gouvernement du Nunavut, 2005). Dans l'Arctique occidental, l'Inuvialuit Regional Corporation a désigné les changements climatiques comme une menace pour les espèces fauniques comme le beluga, mais également comme une possibilité économique en raison de la circulation maritime accrue découlant de la perte de glace de mer. Au niveau local, plusieurs collectivités ont des rôles établis dans les projets relatifs aux changements clima-

tiques. À Clyde River, au Nunavut, par exemple, l’Ittaq Heritage and Research Centre (centre Ittaq pour la recherche et le patrimoine) a conclu un partenariat avec des entités fédérales et territoriales en vue de cerner les mesures d’adaptation et de renforcer la capacité d’adaptation (étude de cas 7; Ittaq Heritage and Research Centre, 2015).

ÉTUDE DE CAS 7

CARTOGRAPHIE COMBINÉE DES RISQUES GÉOMORPHOLOGIQUES À CLYDE RIVER, AU NUNAVUT

Le hameau de Clyde River (population de 934 personnes), situé sur la côte orientale accidentée de l’île de Baffin, a été l’une des collectivités pilotes choisies pour être le lieu de la mise en œuvre d’un processus de planification de l’adaptation entrepris par le Partenariat sur les changements climatiques du Nunavut (encadré 10). Le projet, une étroite collaboration entre le conseil de hameau et le bureau local de l’Ittaq Heritage and Research Centre, a été conçu dans le but de déterminer comment différents aspects du milieu physique posent des risques et des dangers au développement actuel et futur de l’infrastructure et comment les changements climatiques peuvent encore modifier la vulnérabilité de l’infrastructure (Smith *et al.*, 2012b). Une croissance rapide de la population et une augmentation du nombre de développements de logements et d’autres infrastructures ont mené à l’expansion de nombreuses collectivités du Nunavut au-delà du terrain relativement stable et plat sur lesquels elles étaient situées à l’origine. Un des principaux résultats de cette étude pilote a été la mise au point d’une méthodologie permettant d’évaluer les risques géomorphologiques et de les intégrer dans les lignes directrices en matière de planification de façon à améliorer la durabilité des collectivités nordiques. En plus d’une carte combinée des risques géomorphologiques du hameau et des environs (figure 21; Smith *et al.*, 2014), le projet a permis la réalisation de cartes géologiques de surface (Smith *et al.*, 2012a) et de cartes de la géologie périglaciaire et de la géologie du pergélisol (Smith *et al.*, 2011).

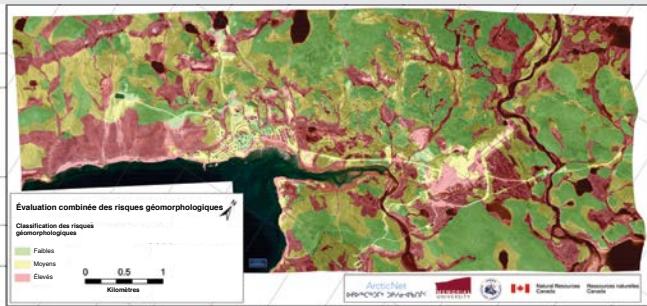


FIGURE 21 : Carte combinée des risques géomorphologiques pour Clyde River, au Nunavut (tiré de Smith *et al.*, 2014).

ENCADRÉ 10 PARTENARIAT SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DU NUNAVUT (PCCN)

Le PCCN, également appelé « Atuliqtuq: Action and Adaptation in Nunavut », a été créé en 2008; il est le produit d’un partenariat entre le gouvernement du Nunavut, les ministères fédéraux et l’Institut canadien des urbanistes. Les activités ont été orientées par trois objectifs :

- Renforcer la capacité de planification de l’adaptation aux changements climatiques du gouvernement du Nunavut et des collectivités en mettant à l’essai l’élaboration de plans d’adaptation dans sept collectivités (Clyde River, Hall Beach, Iqaluit, Arviat, Whale Cove, Cambridge Bay et Kugluktuk) et en utilisant les résultats pour mettre au point des outils de planification pour le reste du territoire.
- Créer des connaissances dans le but d’éclairer l’adaptation communautaire aux changements climatiques, y compris des connaissances sur la dégradation du pergélisol et les risques géomorphologiques qui en découlent, sur le changement du niveau de la mer, sur l’érosion côtière et l’approvisionnement en eau douce, en tirant partie des connaissances scientifiques et inuites.
- Mettre au point des outils pour recueillir, publier et échanger des connaissances sur l’adaptation aux changements climatiques entre les collectivités du Nunavut et d’ailleurs.

Le PCCN a produit des plans d’adaptation communautaires pour chacune des sept collectivités de même qu’une trousse d’outils étape par étape (Trousse d’outils pour la planification de l’adaptation au Nunavut) à l’intention des planificateurs communautaires et des fonctionnaires locaux (Centre sur le changement climatique du Nunavut, sans date).

Une échelle subjective de classement du niveau de risque géomorphologique a été mise au point aux fins de cette étude, et des échelles semblables ont été généralement adoptées pour la cartographie des risques communautaires dans la région de la côte Nord (p. ex. Champalle *et al.*, 2013; Forbes *et al.*, 2014). Même si on évalue généralement une combinaison de facteurs pour déterminer le classement combiné des risques, n’importe quel facteur géomorphologique de cette échelle pourrait déterminer le classement d’une zone si son impact potentiel sur l’infrastructure est jugé

important. Le hameau de Clyde River comprend des zones à risques faibles, moyens et élevés (figure 21), les zones de risques élevés étant caractérisées par un ou plusieurs des éléments suivants : pergélisol riche en glace, érosion par les cours d'eau, épais bancs de neige, terrain humide, inondations côtières et pentes escarpées. Les zones présentant des sédiments stables, peu d'indices de soulèvement ou de tassement du pergélisol, un terrain sec et une pente douce étaient généralement cotées comme étant des zones de risques « faibles ». Les zones de risques moyens sont généralement des zones de transition entre les zones de risques faible et élevés.

La carte combinée des risques géomorphologiques a été présentée au conseil de hameau et a éclairé les discussions publiques sur la mise à jour du plan communautaire. Les points soulevés lors de ces discussions sont les suivants :

- Les niveaux de risques « élevés » et « moyens » ne signifient pas que cette zone ne peut ou ne doit pas être mise en valeur, mais ils indiquent la présence de conditions qui exigeront probablement des considérations supplémentaires lors de la conception technique ou de la construction (p. ex. utiliser des pieux d'acier plutôt que des caissons de bois pour les fondations des bâtiments).
- On peut employer un vaste éventail de mesures d'adaptation pour réduire les risques, y compris des choses aussi simples que la construction de barrières à neige dont la fonction est de réduire l'amoncellement autour des infrastructures.
- Les zones présentant une cote de risques moins élevée sont probablement les zones les plus faciles à mettre en valeur et ce sont elles qui offrent le plus de stabilité à long terme. Toutefois, les conditions difficiles sévissant à Clyde River auront une incidence majeure sur la conception, l'entretien et la durée de vie des bâtiments, peu importe les risques géomorphologiques.
- La carte combinée des risques géomorphologiques a été conçue en vue d'éclairer les processus décisionnels communautaires, mais elle ne doit pas être l'unique facteur dont on tient compte lorsqu'il s'agit de prendre des décisions à l'égard du développement futur.

Le secteur privé dans le Nord se lance également dans l'adaptation, même s'il y a très peu de renseignements publics sur les mesures prises (Ford *et al.*, 2014a). Le secteur minier tient maintenant compte des changements climatiques à l'étape de la conception des mines dans le cadre des processus standard d'évaluation de l'environnement (Pearce *et al.*, 2010a).

4.2 SITUATION ACTUELLE DE LA PLANIFICATION DE L'ADAPTATION

L'analyse des besoins en matière d'adaptation, la planification de l'adaptation et, dans certains cas, la mise en œuvre des interventions d'adaptation font suite à la reconnaissance de l'importance de l'adaptation. Par exemple, le gouvernement du Nunavut a formé le Partenariat sur les changements climatiques du Nunavut (PCCN) en collaboration avec les ministères fédéraux et l'Institut canadien des urbanistes. En tirant parti de l'expérience acquise dans le cadre du PCCN (encadré 10; Callihoo et Ohlson, 2008; Callihoo et Romaine, 2010; Johnson et Arnold, 2010; Hayhurst et Zeeg, 2010), on a élaboré un plan stratégique en 2011 qui cerne les principaux thèmes de la planification de l'adaptation dans le territoire (Gouvernement du Nunavut, 2011). On assiste présentement à une augmentation rapide de l'élaboration de plans d'adaptation pour les collectivités côtières nordiques (Pearce *et al.*, 2012).

La planification de l'adaptation est une étape importante de la gestion des risques posés par les changements climatiques, mais certaines préoccupations subsistent. Par exemple, les spécialistes et les décideurs continuent de souligner le besoin d'améliorer la planification relative aux impacts des changements climatiques sur l'infrastructure (étude de cas 8; Ford *et al.*, 2014c). Il y a également des préoccupations découlant du choc entre la philosophie des populations autochtones du Nord en matière de prévision et de planifications futures à long terme et la philosophie qui sous-tend les notions occidentales de planification (p. ex. Bates, 2007; Natcher *et al.*, 2007). Ainsi, la forte réticence à mettre l'accent sur les risques futurs de certaines collectivités autochtones nordiques du Canada découle de leur croyance quant à la sensibilité du monde naturel et présente des défis uniques en ce qui a trait à la planification anticipée de l'adaptation le long de la côte Nord (Ford *et al.*, 2007; Ford *et al.*, 2010b; Boyle et Dowlatabadi, 2011). Parmi les autres préoccupations relatives à la planification de l'adaptation, on note les défis en matière de ressources humaines et financières, qui sont des enjeux plus pressants que les changements climatiques et qui exigent l'attention et les ressources de la collectivité, la carence de « données scientifiques utilisables » pouvant servir à éclairer la planification et les lacunes au niveau de la compréhension (Boyle et Dowlatabadi, 2011; Pearce *et al.*, 2012; Champalle *et al.*, 2013).

ÉTUDE DE CAS 8

PROTECTION CÔTIÈRE À TUKTOYAKTUK, DANS LES TERRITOIRES DU NORD-OUEST

Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest, est situé sur une étroite péninsule du delta du Mackenzie (figure 22) qui est très vulnérable aux grosses ondes de tempête (section 2.2.5). Avant la prise de mesures de contrôle de l'érosion à Tuktoyaktuk, les taux de recul côtier à long terme étaient de l'ordre de 2 m/an (Solomon, 2005) et ont atteint 10 m de perte de littoral au cours d'une seule tempête en août 2000. L'érosion est aggravée par le fait que les sédiments côtiers sont riches en glace et contiennent souvent des amas de glace massive.

Dès 1976, une série de systèmes expérimentaux de protection du littoral a été installée dans le but d'aider à ralentir le recul côtier et à protéger le hameau contre les inondations (figure 23). L'objectif de ces systèmes était de fournir à la plage et le front de falaise une protection physique contre les vagues de tempête et d'isoler la plage afin d'empêcher le dégel de la glace de sol sous-jacente. Des tubes longard (tubes de tissu à trame et à chaîne de résine de polyéthylène remplis de sable) ont été utilisés à l'origine, mais le géotextile s'était endommagé au fil des ans et l'intégrité du système de protection a été perdue en 1981 (Couture et al., 2002).



FIGURE 22 : Emplacement de diverses mesures de protection du littoral installées à Tuktoyaktuk en vue d'aider à contrôler l'érosion et les inondations (tiré de Couture et al., 2002).

Un projet de recharge de la plage au moyen de matière draguée dans la zone sublittorale a été mis en place en 1987 et complété au fil du temps par des sacs de sable, les semelles de béton d'une école démolie, de gros rochers (perré) et des dalles de béton (figure 23; Couture et al., 2002). Ces mesures offrent une certaine protection contre les tempêtes, même si leur efficacité à long terme est incertaine. Parmi les autres possibilités envisagées pour la protection du littoral, on compte les brise-vagues et le déménagement des infrastructures, dont la mise en œuvre est entravée par les coûts, l'utilisation des terres et la valeur culturelle et économique des infrastructures (UMA Engineering Ltd., 1994; Johnson et al., 2003).



FIGURE 23 : Divers types de mesures de protection du littoral : a) sacs de sable mis en place en 1987, b) rochers (perré) utilisés pour la première fois en 1997, et c) dalles de béton monolithiques installées en 1998. Photos a) et b) gracieusetés de S. Solomon, et photo c) gracieuseté de G. Manson.

Une saison de construction raccourcie, la difficulté d'obtenir des matières comme des ressources granulaires, la disponibilité de l'équipement et de main-d'œuvre chevronnée, les coûts de transport élevés, les défis opérationnels, l'accélération du changement environnemental et une petite assise fiscale pour le financement de la protection du littoral font partie des défis soulevés par la mise en œuvre de la protection côtière dans le Nord.

Certaines recherches avancent que l'adaptation devrait mettre principalement l'accent sur le soutien et l'amélioration des stratégies d'adaptation actuelles pour répondre aux impacts des changements climatiques et sur l'évaluation de l'efficacité des politiques et programmes actuels dans le contexte d'un climat en évolution (Boyle et Dowlatabadi, 2011; Ford et al., 2014d). En fonction de ce point de vue, l'adaptation ne vise pas tant à planifier pour l'avenir qu'à faire ce que nous devrions déjà faire, mais en mieux : nous attaquer aux facteurs déterminants socioéconomiques de la vulnérabilité aux changements climatiques et tirer parti du savoir traditionnel et des valeurs culturelles. Les initiatives et les priorités stratégiques en cours dans les domaines du développement économique, social, sanitaire et culturel peuvent apporter des avantages immédiats en réduisant la vulnérabilité à la variabilité, au changement et aux extrêmes climatiques actuels. Les politiques visant à améliorer de façon générale l'adaptabilité au risque, qui exigent l'intégration de l'adaptation, sont probablement les moyens les plus efficaces de réduire la vulnérabilité aux changements climatiques (Klein et al., 2007; Dovers, 2009; Dovers et Hezri, 2010; de Loë, 2011).

4.3 LACUNES DÉFINIES AU NIVEAU DES RECHERCHES SUR L'ADAPTATION

La littérature fait état de nombreuses lacunes dans les connaissances qui constituent des entraves à l'adoption de mesures d'adaptation dans les collectivités côtières nordiques. Ces lacunes sont abordées à titre soit de lacunes dans la compréhension de la vulnérabilité, soit dans la compréhension de l'adaptation.

4.3.1 VULNÉRABILITÉ

Il est nécessaire de comprendre ce qui rend les systèmes humains vulnérables ou résilients aux changements climatiques si l'on veut aborder la question de l'adaptation (Ribot, 2011). Pour certains secteurs de la région de la côte Nord, des études ont avancé qu'il n'existe pas suffisamment de renseignements sur la vulnérabilité pour entreprendre des mesures d'adaptation (p. ex. récolte et culture), tout en soulignant le besoin pour des études ciblées qui mettraient l'accent sur les régions et les populations n'ayant fait l'objet d'aucune recherche (Ford et Pearce, 2012). Dans d'autres secteurs, on reconnaît que le degré de compréhension des risques posés par les changements climatiques et les renseignements nécessaires à l'adoption de mesures d'adaptation demeurent limités (p. ex. affaires et économie, infrastructure et transport, santé et bien-être; Cameron, 2012; Ford et al., 2012a; Wolf et al., 2013; Bourque et Cunsolo Wilcox, 2014; Ford et al., 2014b).

Dans tous les secteurs, la dynamique à long terme de la façon dont les changements climatiques prévus interagiront avec les conditions socioéconomiques futures est mal comprise et soulève des préoccupations quant à la possibilité d'une mésadaptation en fonction de laquelle les politiques, les programmes et les comportements ne font qu'augmenter la vulnérabilité à long terme (Barnett et O'Neill, 2010; Ribot, 2011; Ford et Pearce, 2012; McDowell et al., 2013). Les travaux réalisés ne permettent qu'une compréhension partielle des moteurs de la vulnérabilité. De nombreuses lacunes dans les connaissances restreignent l'adaptation actuelle, entre autres (Bates, 2007; Ford et al., 2010b; Sayles et Mulrennan, 2010; Cameron, 2012; Ford et Pearce, 2012; Ford et al., 2012b, 2013b; Wolf et al., 2013) :

- l'absence de recherches tenant compte des facteurs déterminants de la vulnérabilité aux échelles régionale et mondiale;
- le manque d'études à long terme cherchant à saisir la nature dynamique de la vulnérabilité, les recherches s'échelonnant principalement sur un nombre limité de saisons;
- l'intégration limitée du savoir traditionnel dans les études sur la vulnérabilité et l'adaptation, les recherches reflétant principalement les approches scientifiques à caractère « occidental »;
- le nombre limité de recherches sur les effets cumulatifs et la manière dont ces effets influeront sur la vulnérabilité aux changements climatiques, aujourd'hui et à l'avenir.

La compréhension actuelle de la vulnérabilité est tirée principalement des études locales dans de petites collectivités et met l'accent sur les activités « traditionnelles ». Il faut bâtir une base de connaissances géographiques et sectorielles plus vaste et plus variée. Les centres régionaux plus importants (p. ex. Iqaluit au Nunavut et Inuvik dans les Territoires du Nord-Ouest) s'imposent comme des centres de développement économique et de croissance démographique dans le Nord du Canada et ont des vulnérabilités très différentes de celles des plus petites collectivités.

Peu d'études ont estimé à quel point les évaluations de la vulnérabilité éclairent réellement les processus décisionnels (Champalle et al., 2013). À cet égard, il serait utile de mettre davantage l'accent sur la participation des intervenants et sur la communication efficace des conclusions des recherches; des efforts afin d'assurer la collaboration interdisciplinaire dans le but de mieux comprendre les nombreux moteurs de la vulnérabilité, des impacts sur les coûts et du rendement en fonction de différents scénarios climatiques s'imposent également (Ford et al., 2014d).

4.3.2 ADAPTATION

Les études sur les impacts et la vulnérabilité mettant l'accent sur les côtes nordiques du Canada recommandent généralement des options d'adaptation afin d'atténuer les risques. Il subsiste toutefois un manque de recherches portant sur le potentiel de réduction de la vulnérabilité au moyen de politiques ou de programmes en fonction de différents scénarios climatiques et socioéconomiques, établissant le coût des mesures, examinant les compromis ou priorisant les besoins. Il y a en outre peu d'exemples de mesures d'adaptation à la fois mises à l'essai et évaluées (Champalle et al., 2013; Ford et al., 2014b, c). L'absence d'analyses stratégiques de tels facteurs entrave probablement l'adoption de mesures d'adaptation (de Bruin et al., 2009; Smith et al., 2009; Sherman and Ford, 2014).

5 RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

La région de la côte Nord est aux premières lignes des changements climatiques; elle connaît le réchauffement le plus prononcé au Canada et on prévoit qu'elle subira un réchauffement continu au cours du présent siècle. Des impacts ont été documentés dans tous les secteurs et toutes les régions du nord, les changements climatiques engendrant à la fois des risques et des possibilités. Les collectivités, les décideurs, les organismes autochtones et les chercheurs ont tous exprimé des préoccupations au sujet des changements climatiques. La littérature mettant l'accent sur les effets des changements climatiques sur le littoral nordique du Canada a considérablement augmenté au cours de la dernière décennie, l'adaptation se dégageant comme un thème central (Downing et Cuerrier, 2011; Ford et al., 2012a, b; McClymont Peace et Myers, 2012).

Il est manifeste que la glace de mer et le pergélisol changent rapidement. La durée de la saison d'eau libre continuera d'augmenter et un océan Arctique libre de glace en été est une possibilité d'ici le milieu du siècle. Une période d'eau exempte de glace plus longue offre des possibilités pour le transport maritime et pourrait améliorer le potentiel de mise en valeur des ressources, de tourisme et de développement portuaire (p. ex. à Churchill, au Manitoba). La glace de mer sert également à voyager d'une collectivité à l'autre et à accéder aux zones de chasse et de pêche. Combinée aux conditions de stress imposés aux ressources fauniques, la réduction de la durée de la couverture de glace pourrait avoir d'importants impacts sociaux, culturels et économiques liés à l'utilisation de l'environnement côtier. L'infrastructure côtière sera touchée par le dégel du pergélisol et l'érosion côtière et par la combinaison de l'augmentation de l'activité orageuse, de la diminution de la protection assurée par la glace de mer et du changement dans le niveau de la mer. Il sera important de tenir compte des changements climatiques prévus dans le développement de nouvelles infrastructures. Les mesures d'adaptation proposées pour réduire les risques liés au climat en matière d'infrastructure comprennent l'amélioration de la conception des bâtiments, l'investissement dans la protection des côtes et la planification de l'utilisation des terres.

Les changements climatiques se produisent dans un contexte d'importants changements sociaux, culturels et économiques qui sont déjà entamés en raison de la mondialisation et qui auront une incidence sur la disponibilité et la faisabilité des options d'adaptation. Par exemple, les défis posés et les possibilités offertes par les changements climatiques en matière de mise en valeur des ressources, de transport maritime, de tourisme et d'autres activités seront déterminés en partie par les prix du marché mondial, la rentabilité, la réglementation et d'autres politiques gouvernementales. Bien que des caractéristiques comme le savoir traditionnel, les valeurs culturelles, les réseaux sociaux et l'utilisation polyvalente des ressources contribuent de façon significative à la capacité d'adaptation aux impacts touchant les activités de récolte, elles sont toutefois, minées dans les collectivités. Beaucoup de défis posés par les changements climatiques aggravent des vulnérabilités existantes comme l'insécurité en matière d'alimentation et de logement, la pauvreté et la marginalisation.

L'adaptation exige des mesures à toutes les échelles afin d'améliorer la résilience, de réduire la vulnérabilité et d'éliminer les obstacles à l'adaptation. La revitalisation culturelle, les programmes visant à promouvoir et à préserver les compétences et les connaissances liées au territoire, l'amélioration du pouvoir décisionnel local et les efforts visant à lutter contre la marginalisation et la pauvreté améliorent la résilience aux impacts des changements climatiques sur les activités de récolte, la culture et la santé. Dans beaucoup de cas, les changements climatiques confèrent une importance renouvelée aux priorités stratégiques en cours.

On trouve des exemples de gouvernements qui planifient l'adaptation et prennent des mesures d'adaptation concrètes dans une grande partie de la région de la côte Nord. On compte parmi les obstacles à l'adaptation, les défis institutionnels, y compris les régimes réglementaires. Par exemple, les changements climatiques modifient la santé, la disponibilité et le moment de la migration d'espèces de poissons et d'espèces fauniques utilisées à des fins de subsistance et de commerce. Ces complexités soulignent l'importance de réactions institutionnelles cohérentes intégrant les considérations relatives aux changements climatiques à toutes les échelles et dans toutes les compétences.

6 RÉFÉRENCES

- Adelson, N. (2000) : *Being Alive Well: Health and Politics of Cree Well-Being*; University of Toronto Press, Toronto, Ontario, 166 p.
- Addison, P.E., Oommen, T. et Lautala, P. (2015) : A review of past geotechnical performance of the Hudson Bay rail embankment and its comparison to the current condition; Joint Rail Conference, 23–26 mars, 2015, San Jose, Californie, Paper JRC2015-5780, 8 p., <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=2323281>.
- Administration régionale Kativik (2012) : Renforcement des capacités et sensibilisation face aux changements climatiques pour la gestion publique locale et la planification territoriale au Nunavik : Rapport final; rapport remis par Ouranos à l'Administration régionale Kativik à Ressources naturelles Canada, http://www.ouranos.ca/media/publication/283_rapportbarrettetgagnon2013.pdf.
- Affaires autochtones et Développement du Nord Canada (2015a) : Nunavut: exploration minérale, exploitation minière et sciences de la Terre de 2014; Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, Ottawa, Ontario, carte, échelle 1: 7 000 000, http://cngn.ca/app/uploads/Exploration_Overview-2014-Map-French.pdf.
- Affaires autochtones et Développement du Nord Canada (2015b) : Nunavut: exploration minérale, exploitation minière et sciences de la Terre de 2014; Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, Ottawa, Ontario, 63 p., http://cngn.ca/app/uploads/Exploration_Overview-2014-Magazine-French.pdf.
- Affaires indiennes et du Nord Canada (2010) : Partageons nos connaissances pour un avenir meilleur : expériences relatives à l'adaptation et aux énergies propres dans un contexte de changements climatiques; Affaires indiennes et du Nord Canada, Ottawa, Ontario, 34 p., https://www.aadnc-aandc.gc.ca/DAM/DAM-INTER-HQ/STAGING/texte-text/ss_enr_sharingPDF_1312295144407_fra.pdf.
- Agence canadienne de développement économique du Nord (2014) : Diversité économique du Canada – par province et territoire; Agence canadienne de développement économique du Nord, <http://www.cannor.gc.ca/fra/1388762115125/1388762170542#chp2>.
- Akperov, M., Mokhov, I., Rinke, A., Dethloff, K. et Matthes, H. (2014) : Cyclones and their possible changes in the Arctic by the end of the twenty first century from regional climate model simulations; Theoretical and Applied Climatology, 12 p. doi:10.1007/s00704-014-1272-2
- Allard, M. et Lemay, M., éditeurs (2012) : Nunavik and Nunatsiavut: From Science to Policy – An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of climate change and modernization; ArcticNet, Québec, Québec, 303 p., http://www.arcticnet.ulaval.ca/pdf/media/iris_report_complete.pdf.

- Allard, M. et Tremblay, G. (1983) : Les processus d'érosion littorale périglaciaire de la région de Poste-de-la-Baleine et des îles Manitounek sur la côte est de la mer d'Hudson, Canada (Periglacial shore erosion processes in the region of Poste-de-la-Baleine and the Manitounek Islands on the coast of Hudson Bay, Canada); *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband, vol. 47, p. 27–60.
- AMAP [Arctic Monitoring and Assessment Programme] (2009) : AMAP Assessment 2009: Human Health in the Arctic; Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 254 p., <<http://www.apmap.no/documents/download/1163>>.
- Andrachuk, M. et Pearce, T. (2010) : Vulnerability and adaptation in two communities in the Inuvialuit Settlement Region; dans *Community Adaptation and Vulnerability in Arctic Regions*, (éd.) G.K. Hovelsrud et B. Smit; Springer, Dordrecht, Netherlands, p. 63–81.
- Anisimov, O.A., Vaughan, D.G., Callaghan, T., Furgal, C., Marchant, H., Prowse, T.D., Vilhjalmsson, H. et Walsh, J.E. (2007) : Polar regions (Arctic and Antarctic); dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*; contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, (éd.) M. Parry, O. Canziani, J. Palutikoff, P. van der Linden et C. Hanson; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 653–685, <<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>>.
- Aporta, C. (2002) : Life on the ice: understanding the codes of a changing environment; *Polar Record*, vol. 38, n° 207, p. 341–354.
- Aporta, C. (2009) : The trail as home: Inuit and their pan-Arctic network of routes; *Human Ecology*, vol. 37, n° 2, p. 131–146.
- Aporta, C. (2011) : Shifting perspectives on shifting ice: documenting and representing Inuit use of the sea ice; *The Canadian Geographer/ Le Géographe canadien*, vol. 55, n° 1, p. 6–19.
- Aporta, C. et MacDonald, J. (2011) : An elder on sea ice: an interview with Aipilik Inusuk of Igloolik, Nunavut; *The Canadian Geographer/ Le Géographe canadien*, vol. 55, n° 1, p. 32–35.
- Aporta, C., Taylor, D.R.F. et Laidler, G.J. (2011) : Geographies of Inuit sea ice use: introduction; *The Canadian Geographer /Le Géographe canadien*, vol. 55, n° 1, p. 1–5.
- Arctic Climate Impact Assessment (2005) : Arctic Climate Impact Assessment: Scientific Report; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 1046 p., <<http://www.acia.uaf.edu/default.html>>.
- Arctic Human Development Report (2004) : Arctic Human Development Report; Stefansson Arctic Institute, Akureyri, Iceland, 242 p., <<http://www.thearctic.is/AHDR%20chapters.htm>>.
- Aré, F.E. (1988) : Thermal abrasion of sea coasts; *Polar Geography and Geology*, vol. 12, p. 1–157.
- Aré, F.E., Reimnitz, E., Grigoriev, M., Hubberten, H.W. et Rachold, V. (2008) : The influence of cryogenic processes on the erosional arctic shoreface; *Journal of Coastal Research*, vol. 24, n° 1, p. 110–121.
- Armitage, D.R., Berkes, F., Dale, A., Kochko-Schellenberg, E. et Patton, E. (2011) : Co-management and the co-production of knowledge: learning to adapt in Canada's Arctic; *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, vol. 21, n° 3, p. 995–1004.
- Atkinson, D.E. (2005) : Observed storminess patterns and trends in the circum-Arctic coastal regime; *Geo-Marine Letters*, vol. 25, n° 2–3, p. 98–109.
- Auld, H., Comer, N. et Fernandez, S. (2010) : Technical guide – infrastructure in permafrost: a guideline for climate change adaptation; Groupe CSA (auparavant l'Association canadienne de normalisation), Publication spéciale PLUS 4011-10, 112 p.
- Barber, D.G., Lukovich, J.V., Keogak, J., Baryluk, S., Fortier, L. et Henry, G.H.R. (2008) : The changing climate of the Arctic; *Arctic*, vol. 61, suppl. 1: *Arctic Change and Coastal Communities* (2008), p. 7–26 <http://www.jstor.org/stable/40513353?seq=1#page_scan_tab_contents>.
- Barnett, J. et O'Neill, S. (2010) : Maladaptation; *Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions*, vol. 20, p. 211–213.
- Barnhart, K.R., Anderson, R.S., Overeem, I., Wobus, C., Clow, G.D. et Urban, F.E. (2014) : Modeling erosion of ice-rich permafrost bluffs along the Alaskan Beaufort Sea coast; *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 119, p. 1155–1179. doi:10.1002/2013JF002845
- Bates, P. (2007) : Inuit and scientific philosophies about planning, prediction, and uncertainty; *Arctic Anthropology*, vol. 44, p. 87–100.
- Beaumier, M. et Ford, J. (2010) : Food insecurity among Inuit females exacerbated by socio-economic stresses and climate change; *Revue canadienne de santé publique*, vol. 101, p. 196–201.
- Bell, T., Briggs, R., Bachmayer, R. et Li, S. (2014) : Augmenting Inuit knowledge for safe sea-ice travel – the SmartICE information system; *comptes rendus de la Conférence Océans '14*, 14–19 septembre 2014; Oceans, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, p. 1–9. doi:10.1109/OCEAns.2014.7003290
- Berkes, F. (1990) : Native subsistence fisheries: a synthesis of harvest studies in Canada; *Arctic*, vol. 43, p. 35–42.
- Berkes, F. (1999) : Sacred Ecology: Traditional Ecological Knowledge and Resource Management; Taylor and Francis, London, Royaume-Uni, 209 p.
- Berkes, F. et Armitage, D. (2010) : Co-management institutions, knowledge, and learning: adapting to change in the Arctic; *Études/Inuit/Studies*, vol. 34, n° 1, p. 109–131.
- Berkes, F. et Farkas, C.S. (1978) : Eastern James Bay Cree Indians: changing patterns of wild food use and nutrition; *Ecology of Food and Nutrition*, vol. 7, p. 155–172.
- Berkes, F. et Jolly, D. (2002) : Adapting to climate change: social-ecological resilience in a Canadian western Arctic community; *Conservation Ecology*, vol. 5, 15 p.
- Berkes, F., Colding, J. et Folke, C. (2003) : Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, New York, 416 p.
- Berkes, F., Huebert, R., Fast, H., Manseau, M. et Diduck, , éditeurs (2005) : Breaking Ice: Renewable Resource and Ocean Management in the Canadian North; University of Calgary Press, Calgary, Alberta, 416 p.
- Blix, A.S. (2005) : Arctic Animals and Their Adaptations to Life on the Edge; Tapir Academic Press, Trondheim, Norvège, 296 p.
- Bolton, K., Lougheed, M., Ford, J.D., Nickels, S., Grable, C. et Shirley, J. (2011) : What we know, don't know, and need to know about climate change in Nunavut, Nunavik, and Nunatsiavut: a systematic literature review and gap analysis; Indian and Northern Affairs Canada, Climate Change Adaptation Program (CCAP), McGill University, Inuit Tapirrit Kanatami et le Nunavut Research Institute, 78 p.
- Boucher, M. et Guimond, A. (2012) : Assessing the vulnerability of Ministère des Transports du Québec infrastructures in Nunavik in a context of thawing permafrost and development of an adaptation strategy; 15e conférence internationale sur l'ingénierie dans les régions froides, 19–22 août Québec, Québec, p. 504–514.
- Bourque, F. et Cunsolo Wilcox, A. (2014) : Climate change: the next challenge for public mental health?; *International Review of Psychiatry*, vol. 26, p. 415–422.
- Boyle, M. et Dowlatabadi, H. (2011) : Anticipatory adaptation in marginalised communities within developed countries; dans *Climate Change Adaptation in Developed Nations: From Theory to Practice*, (éd.) J.D. Ford et L. Berrang-Ford; Springer, Dordrecht, Pays-Bas, p. 461–474.
- Bravo, M. (2009) : Voices from the sea ice: the reception of climate impact narratives; *Journal of Historical Geography*, vol. 35, p. 256–278.
- Bristow, M. et Gill, V. (2011) : Northern assets: transportation infrastructure in remote communities; Le Conference Board du Canada, Publication 12-139, 78 p., <<http://www.conferenceboard.ca/e-library/abstract.aspx?did=4567>>.
- Bureau de normalisation du Québec (2015) : Études géotechniques pour les fondations de bâtiments construites dans le pergélisol; Bureau de normalisation du Québec, Québec, Québec, Norme CAN/BNQ 2501-500, <<https://www.bnq.qc.ca/fr/normalisation/genie-civil-et-infrastructures-urbaines/etudes-geotechniques-pour-les-fondations-de-batiments-construites-dans-le-pergelisol.html>>.
- Burek, K.A., Gulland, F.M.D. et O'Hara, T.M. (2008) : Effects of climate change on arctic marine mammals health; *Ecological Applications*, vol. 18, p. S126–S134.
- Burgess, D.O., Sharp, M.J., Mair, D.W., Dowdeswell, J.A. et Benham, T.J. (2005) : Flow dynamics and iceberg calving rates of Devon Ice Cap, Nunavut, Canada; *Journal of Glaciology*, vol. 51, n° 173, p. 219–230.
- Burn, C.R. et al. Kokelj, S.V. (2009) : The environment and permafrost of the Mackenzie Delta area; *Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 20, p. 83–105.
- Bush, E.J., Loder, J.W., James, T.S., Mortsch, L.D. et Cohen, S.J. (2014) : An overview of Canada's changing climate; dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, (éd.) F.J. Warren et D.S. Lemmen; Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 23–64.

- Callihoo, C. et Ohlson, D. (2008) : Hall Beach, Nunavut: climate change adaptation action plan; rédigé à l'intention du Municipal Corporation of Hall Beach, du Hall Beach Climate Change Adaptation Steering Committee, de l'Institut canadien des urbanistes, de Ressources naturelles Canada et du Gouvernement du Nunavut, mars 2008, 38 p., <<https://www.cip-icu.ca/Files/Resources/Climate-Change-Adaptation-Action-Plan-Hall-Beach>>.
- Callihoo, C. et Romaine, T. (2010) : Cambridge Bay climate change adaptation action plan; rédigé à l'intention de la Municipal Corporation of Cambridge Bay, de l'Institut canadien des urbanistes, des Affaires indiennes et du Nord Canada, de Ressources naturelles Canada et du Gouvernement du Nunavut, juillet 2010, 52 p., <https://www.cip-icu.ca/Files/Resources/CAMBRIDGE_BAY_CCAP_E>.
- Callow, L. (2013) : Oil and gas exploration and development activity forecast: Canadian Beaufort Sea, 2013–2028; rédigé à l'intention d'Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, Beaufort Regional Environmental Assessment (BREA), Ottawa, Ontario, 44 p.
- Cameron, E.S. (2012) : Securing Indigenous politics: a critique of the vulnerability and adaptation approach to the human dimensions of climate change in the Canadian Arctic; *Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions*, vol. 22, p. 103–114.
- Carmack, E. et Macdonald, R. (2008) : Water and ice-related phenomena in the coastal region of the Beaufort Sea: some parallels between Native experience and Western science; *Arctic*, vol. 61, p. 265–280.
- Castro de la Guardia, L., Derocher, A.E., Myers, P.G., Terwisscha van Scheltinga, A.D. et Lunn, N.J. (2013) : Future sea ice conditions in western Hudson Bay and consequences for polar bears in the 21st century; *Global Change Biology*, vol. 19, p. 2675–2687.
- Centre sur les changements climatiques du Nunavut (sans date) : Arviat climate change community engagement; Centre sur les changements climatiques du Nunavut, <<http://climatechangenunavut.ca/en/project/arviat-climate-change-community-engagement>>.
- Centre sur les changements climatiques du Nunavut (sans date) : Nunavut Climate Change Partnership (NCCP); Centre sur les changements climatiques du Nunavut, <<http://climatechangenunavut.ca/en/node/820>>.
- Champalle, C., Tudge, P., Sparling, E., Riedlspurger, R., Ford, J. et Bell, T. (2013) : Adapting the built environment in a changing northern climate: a systematic review of climate hazard-related mapping and vulnerability assessments of the built environment in Canada's North to inform climate change adaptation; rédigé à l'intention de Ressources naturelles Canada, Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, 181 p., <http://www.nwtclimatechange.ca/sites/default/files/Adapting_Built_Environment.pdf>.
- Chan, H.M., Fediuk, K., Hamilton, S., Rostas, L., Caughey, A., Kuhnlein, H., Egeland, G. et Loring, E. (2006) : Food security in Nunavut, Canada: barriers and recommendations; *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 65, p. 416–431.
- Chatwood, S. et Young, K. (2010) : A new approach to health research in Canada's North; *Revue canadienne de santé publique*, vol. 101, p. 25–27.
- Chatwood, S., Bjerregaard, P. et Young, T.K. (2012) : Global health – a circumpolar perspective; *American Journal of Public Health*, vol. 102, p. 1246–1249.
- 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. (2013a) : Sea level change; 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, (éd.) T.F. Stocker, D. Quin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley; 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>.
- 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. (2013b) : Sea level change supplementary material; 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, (éd.) T.F. Stocker, D. Quin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 13SM-1–13SM-8, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/supplementary/WG1AR5_Ch13SM_FINAL.pdf>.
- Clark, D.A., Lee, D.S., Freeman, M.M.R. et Clark, S.G. (2008) : Polar bear conservation in Canada: defining the policy problems; *Arctic*, vol. 61, p. 347–360.
- Clarke, A. et Harris, C.M. (2003) : Polar marine ecosystems: major threats and future change; *Environmental Conservation*, vol. 30, p. 1–25.
- Collings, P. (2011) : Economic strategies, community, and food networks in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada; *Arctic*, vol. 64, p. 207–219.
- Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (2007) : *PIEVC Engineering Protocol – Version 10 – October 2011 – Part 1*; Conseil canadien des ingénieurs.
- Conseil canadien des normes (2015) : Études géotechniques pour les fondations de bâtiments contruites dans le pergélisol; Conseil canadien des normes, Ottawa, Ontario, CAN/BNQ 2501-500, <<https://www.scc.ca/en/standards/>>.
- Conseil de l'Arctique (2009) : *Arctic Marine Shipping Assessment 2009 Report*; Conseil de l'Arctique, Tromsø, Norvège, 189 p., <http://www.arctic.noaa.gov/detect/documents/AMSA_2009_Report_2nd_print.pdf>.
- Conseil de l'Arctique (2013) : *Arctic Resilience Interim Report 2013*; Stockholm Environment Institute et Stockholm Resilience Centre, Stockholm, Suède, 134 p., <<http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/ArcticResilienceInterimReport2013-LowRes.pdf>>.
- Conseil de l'Arctique (2015) : Déclaration d'Iqaluit; Conseil de l'Arctique, Neuvième réunion ministérielle, 24–25 avril 2015, Iqaluit, Nunavut, <<http://www.international.gc.ca/arctic-arctique/declaration-finale.aspx?lang=fra>>.
- Constant, P., Poissant, L., Villemur, R., Yumvihoze, E. et Lean, D. (2007) : Fate of inorganic mercury and methyl mercury within the snow cover in the low arctic tundra on the shore of Hudson Bay (Quebec, Canada); *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, vol. 112, 10 p., <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006JD007961/pdf>>.
- Copland, L., Mortimer, C., White, A., Richer McCallum, M. et Mueller, D. (sous presse) : Factors contributing to recent Arctic ice shelf losses; dans *Arctic Ice Shelves and Ice Islands*, (éd.) L. Copland et D. Mueller; Springer, Dordrecht, Pays-Bas.
- Copland, L., Mueller, D.R. et Weir, L. (2007) : Rapid loss of the Ayles ice shelf, Ellesmere Island, Canada; *Geophysical Research Letters*, vol. 34, contribution L21501. doi:10.1029/2007GL031809
- Courtland, R. (2008) : Polar bear numbers set to fall; *Nature News*, vol. 453, p. 432.
- Couture, N.J. et Manson, G.K. (2016) : CanCoast: a tool for helping to assess climate change sensitivity; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public.
- Couture, R., Robinson, S., Burgess, M. et Solomon, S. (2002) : Climate change, permafrost, and community infrastructure: a compilation of background material from a pilot study of Tuktoyaktuk, Northwest Territories; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 3867, 96 p. doi:10.4095/213753
- Cruikshank, J. (2001) : Glaciers and climate change: perspectives from oral tradition; *Arctic*, vol. 54, p. 377–393.
- Groupe CSA (2014a) : Fondations à thermosyphon de bâtiments construits dans des régions pergélisoléesThermosyphon foundations for building in permafrost regions; Groupe CSA (auparavant Agence canadienne de normalisation), Mississauga, Ontario, CAN/CSA-S500-14, 37 p., <<http://shop.csa.ca/fr/canada/infrastructure-and-public-works/cancsa-s500-14/invt/27036862014>>.
- Cunsolo Wilcox, A. et les collectivités du Nunatsiavut (2014) : Attutauinujuk nunama – Lament for the land (film); Lament Productions.
- Cunsolo Wilcox, A., Harper, S.L. et Edge, V. (2013a) : Examining the climatic and environmental determinants of mental health: a case study from Nunatsiavut, Labrador, Canada; *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 72, p. 519–520.
- Cunsolo Wilcox, A., Harper, S.L., Ford, J.D., Edge, V., Landman, K., Houle, K., Blake, S. et Wolfrey, C. (2013b) : Climate change and mental health: an exploratory case study from Rigolet, Nunatsiavut, Canada; *Climatic Change*, vol. 72, suppl. 1, p. 519–520.
- Cunsolo Wilcox, A., Harper, S.L., Ford, J.D., Landman, K., Houle, K., Edge, V.L. et Rigolet Inuit Community Government (2012) : "From this place and of this place": climate change, sense of place, and health in Nunatsiavut, Canada; *Social Science and Medicine* vol. 75, p. 538–547.
- Cunsolo Wilcox, A., Harper, S.L., Landman, K., Houle, K., Ford, J.D. et Rigolet Inuit Community Government (2013a) : "The land enriches our soul": on environmental change, affect, and emotional health and well-being in Nunatsiavut, Canada; *Emotion, Space and Society*, vol. 6, p. 14–32.
- Cunsolo Wilcox, A., Stephenson, E., Allen, J., Bourque, F., Drossos, A., Elgarøy, S., Kral, M.J., Mauro, I., Moses, J., Pearce, T., Petrasek-Macdonald, J. et Wexler, L. (2015) : Examining relationships between climate change and mental health in the circumpolar north; *Regional Environmental Change*, vol. 15, p. 169–182. doi:10.1007/s10113-014-0630-z
- Dale, A. et Armitage, D. (2011) : Marine mammal co-management in Canada's Arctic: knowledge co-production for learning and adaptive capacity; *Marine Policy*, vol. 35, p. 440–449.

- Dallimore, S.R., Wolfe, S.A. et Solomon, S.M. (1996) : Influence of ground ice and permafrost on coastal evolution, Richards Island, Beaufort Sea coast, N.W.T.; Revue canadienne des sciences de la Terre, vol. 33 p. 664-675.
- Damas, D. (2002) : Arctic Migrants / Arctic Villagers: The Transformation of Inuit Settlement in the Central Arctic; McGill-Queen's University Press, Montréal, Québec, 277 p.
- Darnis, G., Robert, D., Pomerleau, C., Link, L., Archambault, P., Nelson, R.J., Geoffroy, M., Tremblay, J.-É., Lovejoy, C., Ferguson, S.H., Hunt, B.P.V. et Fortier, L. (2012) : Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems, II: heterotrophic food web, pelagic-benthic coupling, and biodiversity; *Climatic Change*, vol. 115, n° 1, p. 179-205.
- Dawson, J., Johnstone, M.E. et Stewart, E.J. (2014) : Governance of Arctic expedition cruise ships in a time of rapid environmental and economic change; *Ocean and Coastal Management*, vol. 89, p. 88-99, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569113003074>>.
- de Bruin, K., Dellink, R.B., Ruijs, A., Bolwidt, L., van Buuren, A., Graveland, J., de Groot, R.S., Kuikman, P.J., Reinhard, S., Roetter, R.P., Tassone, V.C., Verhagen, A. et van Ierland, E.C. (2009) : Adapting to climate change in the Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives; *Climatic Change*, vol. 95, p. 23-45.
- Decker, R., Fournier, B. et Nagy, J. (2008) : Climate change impacts and adaptation report; Northwest Territories Environment and Natural Resources, 31 p., <http://www.enr.gov.nt.ca/sites/default/files/reports/nwt_climate_change_impacts_and_adaptation_report.pdf>.
- de Loë, R.C. (2011) : Mainstreaming climate change adaptation in drinking water source protection in Ontario: challenges and opportunities; dans *Climate Change Adaptation in Developed Nations: From Theory to Practice*, (éd.) J.D. Ford et L. Berrang-Ford; Springer, Dordrecht, Pays-Bas, p. 439-448.
- Delormier, T. et Kuhnlein, H.V. (1999) : Dietary characteristics of eastern James Bay Cree women; *Arctic*, vol. 52, p. 182-187.
- Dery, S.J., Hernandez-Henriquez, M.A., Burford, J.E. et Wood, E.F. (2009) : Observational evidence of an intensifying hydrological cycle in northern Canada; *Geophysical Research Letters*, vol. 36, 5 p.
- Donaldson, S.G., Van Oostdam, J., Tikhonov, C., Feeley, M., Armstrong, B., Ayotte, P., Boucher, O., Bowers, W., Chan, L., Dallaire, F., Dallaire, R., Dewailly, E., Edwards, J., Egeland, G.M., Fontaine, J., Furgal, C., Leech, T., Loring, E., Muckle, G., Nancarrow, T., Pereg, D., Plusquellec, P., Potyrala, M., Receveur, O. et Shearer, R.G. (2010) : Environmental contaminants and human health in the Canadian Arctic; *Science of the Total Environment*, vol. 408, p. 5165-5234.
- Dovers, S. (2009) : Normalizing adaptation; *Global Environmental Change*, vol. 19, p. 4-6.
- Dovers, S. et Hezri, R. (2010) : Institutions and policy processes: the means to the ends of adaptation; *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 1, p. 212-231.
- Downing, A. et Cuerrier, A. (2011) : A synthesis of the impacts of climate change on the First Nations and Inuit of Canada; *Indian Journal of Traditional Knowledge*, vol. 10, p. 57-70.
- Dowsley, M. (2009a) : Community clusters in wildlife and environmental management: using TEK and community involvement to improve co-management in an era of rapid environmental change; *Polar Research*, vol. 28, p. 43-59.
- Dowsley, M. (2009b) : Inuit-organized polar bear sport hunting in Nunavut territory, Canada; *Journal of Ecotourism*, vol. 8, p. 161-175.
- Dowsley, D. et Wenzel, G. (2008) : "The time of most polar bears": a co-management conflict in Nunavut; *Arctic*, vol. 61, p. 177-189.
- Duerden, F. (2004) : Translating climate change impacts at the community level; *Arctic*, vol. 57, p. 204-212.
- Dumas, J.A., Flato, G.M. et Brown, R.D. (2006) : Future projections of landfast ice thickness and duration in the Canadian Arctic; *Journal of Climate*, vol. 19, p. 5175-5189.
- Dunton, K.H., Weingartner, T. et Carmack, E.C. (2006) : The nearshore western Beaufort Sea ecosystem: circulation and importance of terrestrial carbon in arctic coastal food webs; *Progress in Oceanography*, vol. 71, p. 362-378.
- Ednie, M. et Smith, S.L. (2015) : Permafrost temperature data 2008-2014 from community based monitoring sites in Nunavut; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 7784, 18 p., <<http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/downloade.web&search1=R=296705>>.
- Egeland, G.M., Pacey, A., Cao, Z. et Sobol, I. (2010) : Food insecurity among Inuit preschoolers: Nunavut Inuit Child Health Survey, 2007-2008; *Journal de l'Association médicale canadienne*, vol. 182, p. 243-248.
- Eicken, H., Gradinger, R., Graves, A., Mahoney, A., Rigor, I. et Melling, H. (2005) : Sediment transport by sea ice in the Chukchi and Beaufort seas: increasing importance due to changing ice conditions?; *Deep-Sea Research II*, vol. 52, p. 3281-3302.
- Eicken, H., Lovecraft, A.L. et Druckenmiller, M.L. (2009) : Sea-ice system services: a framework to help identify and meet information needs relevant for Arctic observing networks; *Arctic*, vol. 62, p. 119-136.
- Emmerton, C.A., Lesack, L.F.W. et Marsh, P. (2007) : Lake abundance, potential water storage, and habitat distribution in the Mackenzie River delta, western Canadian Arctic; *Water Resources Research*, vol. 43, n° 5, 14 p., <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006WR005139/full>>.
- Emploi et Développement social Canada (2014a) : Bulletin sur le marché du travail – Territoires du Nord-Ouest, Nunavut et Yukon : 2014 (édition annuelle édition); Emploi et Développement social Canada, Division de l'Information sur le marché du travail, 6 p., <http://www.edsc.gc.ca/fra/emplois/imt/publications/bulletins_tno_nt_yt/annuelle2014.shtml>.
- Emploi et Développement social Canada (2014b) : Bulletin sur le marché du travail – Territoires du Nord-Ouest, Nunavut et Yukon : octobre 2014 (édition trimestrielle); Emploi et développement social Division de l'Information sur le marché du travail, 6 p., <http://www.edsc.gc.ca/fra/emplois/imt/publications/bulletins_tno_nt_yt/oct2014.shtml>.
- Environnement Canada (2015) : Bulletin des tendances et des variations climatiques, 2013-2014; Environnement Canada, Ottawa, Ontario, <<http://publications.gc.ca/site/eng/9.504249/publication.html>>.
- Environnement Canada (sans date) : Climatic ice atlas 1981-2010: northern Canadian waters – freeze-up/break-up dates; Environnement Canada, Ottawa, Ontario, <<http://iceweb1.cis.ec.gc.ca/30Atlas/page1.xhtml?region=AR&lang=en>>.
- Euskirchen, E.S., Goodstein, E.S. et Huntington, H.P. (2013) : An estimated cost of lost climate regulation services caused by thawing of the Arctic cryosphere; *Ecological Applications*, vol. 23, p. 1869-1880.
- Forbes, D.L., éditeur (2011) : State of the Arctic Coast 2010 – Scientific Review and Outlook; International Arctic Science Committee, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project, International Permafrost Association, Arctic Monitoring and Assessment Programme Working Group of the Arctic Council, Geesthacht, Allemagne, 178 p., <<http://arcticcoasts.org>>.
- Forbes, D.L. et Fobel, D. (1985) : Coastal erosion and sedimentation in the Canadian Beaufort sea; dans *Recherches en cours, Partie B*; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Étude 85-1B, p. 69-80.
- Forbes, D.L. et Hansom, J.D. (2012) : Polar coasts; dans *Treatise on Estuarine and Coastal Science, Volume 3: Estuarine and Coastal Geology and Geomorphology*, (éd.) D. McClusky et E. Wolanski; Academic Press, Waltham, Massachusetts, p. 245-283.
- Forbes, D.L. et Taylor, R.B. (1994) : Ice in the shore zone and the geomorphology of cold coasts; *Progress in Physical Geography*, vol. 18, p. 59-89.
- Forbes, D.L., Bell, T., James, T.S. et Simon, K.M. (2014) : Reconnaissance assessment of landscape hazards and potential impacts of future climate change in Arviat, southern Nunavut; dans *Summary of Activities 2013*, Bureau géoscientifique Canada-Nunavut, p. 183-192.
- Ford, J.D. (2009a) : Dangerous climate change and the importance of adaptation for the Arctic's Inuit population; *Environmental Research Letters*, vol. 4, 9 p. doi:10.1088/1748-9326/4/2/024006
- Ford, J.D. (2009b) : Vulnerability of Inuit food systems to food insecurity as a consequence of climate change: a case study from Igloolik, Nunavut; *Regional Environmental Change*, vol. 9, p. 83-100.
- Ford, J.D. et Pearce, T. (2010) : What we know, do not know, and need to know about climate change vulnerability in the western Canadian Arctic: a systematic literature review; *Environmental Research Letters*, vol. 5, doi:10.1088/1748-9326/5/1/014008
- Ford, J.D. et Pearce, T. (2012) : Climate change vulnerability and adaptation research focusing on the Inuit subsistence sector in Canada: directions for future research; *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, vol. 56, p. 275-287.
- Ford, J.D. et Smit, B. (2004) : A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change; *Arctic*, vol. 57, p. 389-400.
- Ford, J.D., Bell, T. et St-Hilaire-Gravel, D. (2010a) : Vulnerability of community infrastructure to climate change in Nunavut: a case study from Arctic Bay; dans *Community Adaptation and Vulnerability in Arctic Regions*, (éd.) G.K. Hovelsrud et B. Smit; Springer, Dordrecht, Pays-Bas, p. 107-130.
- Ford, J.D., Berrang-Ford, L., King, M. et Furgal, C. (2010c) : Vulnerability of Aboriginal health systems in Canada to climate change; *Global Environmental Change*, vol. 20, p. 668-680.

- Ford, J.D., Bolton, K.C., Shirley, J., Pearce, T., Tremblay, M. et Westlake, M. (2012a) : Mapping human dimensions of climate change research in the Canadian Arctic; *Ambio*, vol. 41, p. 808–822.
- Ford, J.D., Bolton, K.C., Shirley, J., Pearce, T., Tremblay, M. et Westlake, M. (2012b) : Research on the human dimensions of climate change in Nunavut, Nunavik, and Nunatsiavut: a literature review and gap analysis; *Arctic*, vol. 65, p. 289–304.
- Ford, J.D., Cunsolo-Willox, A., Chatwood, S., Furgal, C., Harper, S., Mauro, I. et Pearce, T. (2014d) : Adapting to the effects of climate change on Inuit health; *American Journal of Public Health*, vol. 104, p. e9–e17.
- Ford, J.D., Champalle, C., Tudge, P., Riedlperger, R., Bell, T. et Sparling, E (2014c) : Evaluating climate change vulnerability assessments: a case study of research focusing on the built environment in northern Canada; *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22 p. doi:10.1007/s11027-014-9543-x
- Ford, J.D., Lardeau, M., Blackett, H., Chatwood, S. et Kurszewski, D. (2013a) : Community food program use in Inuvik, Northwest Territories; *BMC Public Health*, vol. 13, 15 p., <<http://www.biomedcentral.com/1471-2458/13/970>>.
- Ford, J.D., McDowell, G. et Jones, J. (2014a) : The state of climate change adaptation in the Arctic; *Environmental Research Letters*, vol. 9, 9 p. doi:10.2105/AJPH.2010.300105
- Ford, J.D., McDowell, G., Shirley, J., Pitre, M., Siewierski, R., Gough, W., Duerden, F., Pearce, T., Adams, P. et Statham, S. (2013b) : The dynamic multiscale nature of climate change vulnerability: an Inuit harvesting example; *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 103, p. 1193–1211.
- Ford, J.D., Pearce, T., Duerden, F., Furgal, C. et Smit, B. (2010b) : Climate change policy responses for Canada's Inuit population: the importance of and opportunities for adaptation; *Global Environmental Change*, vol. 20, p. 177–191.
- Ford, J.D., Pearce, T., Prno, J., Duerden, F., Berrang-Ford, L., Smith, T.R. et Beaumier, M. (2011b) : Canary in a coal mine: perceptions of climate change risks and response options among Canadian mine operations; *Climatic Change*, vol. 109, p. 399–415.
- Ford, J.D., Pearce, T., Prno, J., Duerden, F., Berrang-Ford, L., Beaumier, M. et Smith, T. (2010d) : Perceptions of climate change risks in primary resource use industries: a survey of the Canadian mining sector; *Regional Environmental Change*, vol. 10, p. 65–81. doi:10.1007/s10113-009-0094-8
- Ford, J.D., Pearce, T., Smit, B., Wandel, J., Allurut, M., Shappa, K., Iltusujurat, H. et Qrunnuit, K. (2007) : Reducing vulnerability to climate change in the Arctic: the case of Nunavut, Canada; *Arctic*, vol. 60, p. 150–166.
- Ford, J.D., Smit, B. et Wandel, J. (2006a) : Vulnerability to climate change in the Arctic: a case study from Arctic Bay, Canada; *Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions*, vol. 16, p. 145–160.
- Ford, J.D., Smit, B., Wandel, J., Allurut, M., Shappa, K., Iltusujurat, H. et Qrunnuit, K. (2008) : Climate change in the Arctic: current and future vulnerability in two Inuit communities in Canada; *Geographical Journal*, vol. 174, p. 45–62.
- Ford, J.D., Smit, B., Wandel, J. et MacDonald, J. (2006b) : Vulnerability to climate change in Igloolik, Nunavut: what we can learn from the past and present; *Polar Record*, vol. 42, p. 127–138.
- Ford, J.D., Smith, T. et Berrang-Ford, L. (2011a) : Canadian Federal support for climate change and health research compared with the risks posed; *American Journal of Public Health*, vol. 101, p. 814–821.
- Ford, J.D., Wilcox, A.C., Chatwood, S., Furgal, C., Harper, S., Mauro, I. et Pearce, T. (2014b) : Adapting to the effects of climate change on Inuit health; *American Journal of Public Health*, vol. 104, suppl. 3, p. e9–e17.
- Fortier, L., Barber, D.G., et Michaud J., éditeurs (2008) : *On Thin Ice: A Synthesis of the Canadian Arctic Shelf Exchange Study (CASES)*; Aboriginal Issues Press, Manitoba, Canada, 215 p.
- Fox, S. (2002) : "These are things that are really happening": Inuit perspectives on the evidence and impacts of climate change in Nunavut; dans *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Arctic Environmental Change*, (éd.) I. Krupnik et D. Jolly; Arctic Research Consortium of the United States, Fairbanks, Alaska, p. 12–53.
- Fox, S. (2003) : When the weather is Uggianaqtuq: Inuit observations of environmental change; National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder, Colorado, <<http://nsidc.org/data/docs/arcss/arcss122/>>.
- Francis, J.A. et Vavrus, S. J. (2012) : Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, L06801, 6 p. doi:10.1029/2012GL051000
- French, H.M., Bennett, L. et Hayley, D.W. (1986) : Ground ice conditions near Rea Point and on Sabine Peninsula, eastern Melville Island; *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 23, p. 1389–1400.
- Friesen, T.M. (2012) : Inuvialuit archaeology; dans *Herschel Island: A Natural and Cultural History of Yukon's Arctic Island – Qikiqtaryuk*, (éd.) C.R. Burn; Wildlife Management Advisory Council (North Slope), Whitehorse, Yukon, p. 145–157.
- Fugmann, G. (2009) : Development corporations in the Canadian North – examples for economic grassroots initiatives among the Inuit; *Erdkunde*, vol. 63, p. 69–79.
- Furgal, C. et Laing, R. (2013) : Climate change and adaptation in Nunavik: a support document for municipal decision makers, workers and residents; annexe 1 dans *Renforcement des capacités et sensibilisation face aux changements climatiques pour la gestion publique locale et la planification territoriale au Nunavik : Rapport final*; Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario, 77 p., <http://www.ouranos.ca/media/publication/283_rapportbarrettetgagnon2013.pdf>.
- Furgal, C. et Prowse, T. (2008) : Nord du Canada; dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, (éd.) D. Lemmen, F. Warren, E. Bush et J. Lacroix; Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 57–118.
- Furgal, C. et Seguin, J. (2006) : Climate change, health and community adaptive capacity: lessons from the Canadian north; *Environmental Health Perspectives*, vol. 114, n° 12, p. 1964–1970.
- Furgal, C., Buell, M., Chan, L., Edge, V., Martin, D. et Ogden, N. (2008) : Les effets des changements climatiques sur la santé dans le Nord canadien/Health impacts of climate change in Canada's North; dans *Santé et changements climatiques : évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada*, (éd.) J. Seguin; Santé Canada, Ottawa, Ontario, p. 303–366.
- Furgal, C., Laing, R. et Sheldon, T. (2012) : Nain anomalous year impact and adaptation study: overview of community survey results; Nain Research Centre, Nain, Nunatsiavut.
- Furgal, C., Martin, D. et Gosselin, P. (2002) : Climate change and health in Nunavik and Labrador; dans *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Climate Change*, (éd.) I. Krupnik et D. Jolly; Arctic Research Consortium of the United States, Fairbanks, Alaska, p. 267–299.
- Gajadhar, A.A., Measures, L., Forbes, L.B., Kapel, C. et Dubey, J.P. (2004) : Experimental *Toxoplasma gondii* infection in grey seals (*Halichoerus grypus*); *Journal of Parasitology*, vol. 90, p. 255–259.
- Gardner, A. S., Moholdt, M., Wouters, B., Wolken, G.J., Burgess, D.O., Sharp, M., Cogley, J.G., Braun, C. et Labine, C. (2011) : Sharply increased mass loss from glaciers and ice caps in the Canadian Arctic Archipelago; *Nature*, vol. 473, p. 357–360. doi:10.1038/nature10089
- Gearheard, S., Aporta, C., Aipellee, G. et O'Keefe, K. (2011) : The Igliniit project: Inuit hunters document life on the trail to map and monitor arctic change; *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, vol. 55, p. 42–55.
- Gearheard, S., Matumeak, W., Angutikjuaq, I., Maslanik, J., Huntington, H.P., Leavitt, J., Kakak, D.M., Tigullaraq, G. et Barry, R.G. (2006) : "It's not that simple": a collaborative comparison of sea ice environments, their uses, observed changes, and adaptations in Barrow, Alaska, USA and Clyde River, Nunavut, Canada; *Ambio*, vol. 35, n° 4, p. 203–211.
- Gearheard, S., Pocernich, M., Stewart, R., Sangaya, J. et Huntington, H.P. (2010) : Linking Inuit knowledge and meteorological station observations to understand changing wind patterns at Clyde River, Nunavut; *Climatic Change*, vol. 100, p. 267–294.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques*, 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. Tignore, 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., <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf>.
- Giles, A.R., Strachan, S.M., Doucette, M., Stadig, G.S. et la Ville de Pangnirtung (2013) : Adaptation to aquatic risks due to climate change in Pangnirtung, Nunavut; *Arctic*, vol. 66, p. 207–217.
- Gombay, N. (2005) : The commoditization of country foods in Nunavik: a comparative assessment of its development, applications, and significance; *Arctic*, vol. 58, p. 115–128.
- Gombay, N. (2007) : From subsistence to commercial fishing in northern Canada – the experience of an Inuk entrepreneur; *British Food Journal*, vol. 108, p. 502–521.
- Gouvernement du Nunavut (2003) : Nunavut climate change strategy; Gouvernement du Nunavut, Ministère du Développement durable, Iqaluit, Nunavut, 26 p., <http://climatechangenunavut.ca/sites/default/files/nunavut_climate_change_strategy-english_0.pdf>.

- Gouvernement du Nunavut (2005) : Terminology on climate change; Gouvernement du Nunavut, Ministère de la Culture, de la Langue, des Aînés et de la Jeunesse et Nunavut Tunngavik Incorporated, Iqaluit, Nunavut, 149 p., <http://climatechangenunavut.ca/sites/default/files/terminology_on_climate_change.pdf>.
- Gouvernement du Nunavut (2011) : Upagiaqtavut: climate change impacts and adaptation in Nunavut; Gouvernement du Nunavut, Ministère de l'Environnement, Iqaluit, Nunavut, 30 p., <http://climatechangenunavut.ca/sites/default/files/3154-315_climate_english_reduced_size_1_0.pdf>.
- Gouvernement du Nunavut (2013) : Terrain analysis in Nunavut; Gouvernement du Nunavut, Ministère des Services communautaires et gouvernementaux, Pan-Territorial Information Notes, MAR.2013.NU.03, 1 p., <http://northernaadaptation.ca/sites/default/files/terrain_analysis_in_nunavut.pdf>.
- Government of the Northwest Territories (2008) : NWT climate change impacts and adaptation report; Government of Northwest Territories, Department of Environment and Natural Resources, 31 p., <http://www.enr.gov.nt.ca/sites/default/files/reports/nwt_climate_change_impacts_and_adaptation_report.pdf>.
- Government of the Northwest Territories (2015) : Arctic Oil and Gas Symposium – Assistant Deputy Minister, Minerals and Petroleum Resources speech, March 10, 2015; Government of the Northwest Territories, Department of Industry, Tourism and Investment, <<http://www.ti.gov.nt.ca/news/arctic-oil-and-gas-symposium-assistant-deputy-minister-minerals-and-petroleum-resources-speech>>.
- Government of Yukon (2009) : Yukon Government climate change action plan; Government of Yukon, Whitehorse, Yukon, 54 p., <http://www.env.gov.yk.ca/publications-maps/documents/YG_Climate_Change_Action_Plan.pdf>.
- Government of Yukon (2012) : Yukon Government climate change action plan progress report – September 2012; Government of Yukon, Whitehorse, Yukon, 24 p., <http://www.env.gov.yk.ca/publications-maps/documents/ccap_progressreport_eng_2012.pdf>.
- Governments of Nunavut, Northwest Territories and Yukon (2011) : Pan-territorial adaptation strategy: moving forward on climate change adaptation in Canada's North; Governments of Nunavut, Northwest Territories and Yukon 32 p., <<http://www.anorthernvision.ca/documents/Pan-TerritorialAdaptationStrategyEN.pdf>>.
- Gradinger, R.R. et Bluhm, B.A. (2004) : In situ observations on the distribution and behavior of amphipods and Arctic cod (*Boreogadus saida*) under the sea ice of the high arctic Canadian Basin; *Polar Biology*, vol. 27, p. 595–603.
- Groupe CSA (2014b) : Modérer les effets de la dégradation du pergélisol des structures existantes; Groupe CSA (auparavant Agence canadienne de normalisation), Mississauga, Ontario, CAN/CSA-S501-14, 49 p., <<http://shop.csa.ca/fr/canada/infrastructure-and-public-works/cancsa-s501-14/intv/27037462014>>.
- Groupe CSA (2014c) : Gestion des risques liés aux charges neigeuses sur les infrastructures du Grand Nord canadien; Groupe CSA (auparavant Agence canadienne de normalisation), Mississauga, Ontario, CAN/CSA-S502-14, 62 p., <<http://shop.csa.ca/fr/canada/infrastructure-and-public-works/cancsa-s502-14/intv/27037662014>>.
- Groupe CSA (2015) : Planification, conception et maintenance de systèmes de drainage dans les communautés du Nord; Groupe CSA (auparavant Agence canadienne de normalisation), Mississauga, Ontario, CAN/CSA-S503-15, 77 p., <<http://shop.csa.ca/fr/canada/infrastructure-and-public-works/cancsa-s503-15/intv/27037832015>>.
- Haas, C., Le Goff, H., Audrain, S., Perovich, D. et Haapala, J. (2011) : Comparison of seasonal sea-ice thickness change in the Transpolar Drift observed by local ice mass-balance observations and floe-scale EM surveys; *Annals of Glaciology*, vol. 52, p. 97–102.
- Hamilton, S.G., de la Guardia, L.C., Derocher, A.E., Sahanatien, V., Tremblay, B. et Huard, D. (2014) : Projected polar bear sea ice habitat in the Canadian Arctic Archipelago; *Plos One*, vol. 9. doi:10.1371/journal.pone.0113746
- Hansom, J.D., Forbes, D. L. et Etienne, S. (2014) : Chapter 16 – The rock coasts of polar and sub-polar regions; dans *Rock Coast Geomorphology: A Global Synthesis*, (éd.) D.M. Kennedy, W.J. Stephenson et L.A. Naylor; The Geological Society, Memoir 40, p. 263–281. doi:10.1144/M40.16
- Harder, M.T. et Wenzel, G.W. (2012) : Inuit subsistence, social economy and food security in Clyde River, Nunavut; *Arctic*, vol. 65, p. 305–318.
- Harper, J.R. (1990) : Morphology of the Canadian Beaufort Sea coast; *Marine Geology*, vol. 91, p. 75–91.
- Harper, J.R., Henry, R.F. et Stewart, G.G. (1988) : Maximum storm surge elevations in the Tuktoyaktuk region of the Canadian Beaufort Sea; *Arctic*, vol. 4, p. 48–52.
- Harper, S.L. (2014) : Gastrointestinal illness in Canada's north: implications of climate change on current and future Inuit health; thèse de doctorat, Department of Population Medicine, Université de Guelph, Guelph, Ontario, 389 p.
- Harper, S.L., Edge, V.L., Ford, J., Thomas, M.K., Pearl, D., Shirley, J., Indigenous Health Adaptation to Climate Change Research Group (IHACC), Rigolet Inuit Community Government (RICG) et McEwen, A. (2015a) : Healthcare use for acute gastrointestinal illness in two Inuit communities: Rigolet and Iqaluit, Canada; *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 74, 14 p., <http://www.circumpolarhealthjournal.net/index.php/ijch/article/view/26290#AF0006_26290>. doi:10.3402/ijch.v74.26290
- Harper, S.L., Edge, V.L., Ford, J., Thomas, M.K., McEwen, S.A., Indigenous Health Adaptation to Climate Change Research Group (IHACC) et Rigolet Inuit Community Government (RICG) (2015b) : Lived experience of acute gastrointestinal illness in Rigolet, Nunatsiavut: "Just suffer through it"; *Social Science and Medicine*, vol. 126, p. 86–98. doi:10.1016/j.socscimed.2014.12.011
- Harper, S.L., Edge, V., Wallace, C., ar-Rushdi, M. et McEwen, S. (2010) : Improving Aboriginal health data capture: evidence from a health registry evaluation; *Epidemiology and Infection*, vol. 139, p. 1774–1783.
- Harper, S.L., Edge, V., Wallace, C., Berke, O. et McEwen, S. (2011a) : Comparison of trends in weather, water quality, and infectious gastrointestinal illness in two Inuit communities in Nunatsiavut, Canada: potential implications for climate change; *EcoHealth*, vol. 9, n° 1, p. 89–101.
- Harper, S.L., Edge, V., Wallace, C., Berke, O. et McEwen, S. (2011b) : Weather, water quality, and infectious gastrointestinal illness in two Inuit communities in Nunatsiavut, Canada: potential implications for climate change; *EcoHealth*, vol. 8, p. 93–108.
- Harry, D.G., French, H.M. et Pollard, W.H. (1988) : Massive ground ice and ice-cored terrain near Sabine Point, Yukon coastal plain; *Revue canadienne des sciences de la terre*, vol. 25, p. 1846–1856.
- Hatcher, S.V. et Forbes, D.L. (sous presse) : Exposure to coastal hazards in a rapidly expanding northern urban centre, Iqaluit, Nunavut; Arctic.
- Hatcher, S.V., Forbes, D.L. et Manson, G.K. (2011) : Coastal hazard assessment for adaptation planning in an expanding Arctic municipality; C-Change Working Paper, Sustainable Development of Coastal Communities: Challenges and Solutions International Conference, 1–3 juin 2011, Port-of-Spain, Trinité-et-Tobago, n° 23, 15 p.
- Hayhurst, T. et Zeeg, T. (2010) : Whale Cove (*Tikirarjuaq*) Climate Change Plan; dans *Atuliktuq: Action and Adaptation in Nunavut*; Gouvernement du Nunavut, Institut canadien des urbanistes, ressources naturelles Canada et Affaires indiennes et du Nord Canada, Ottawa, Ontario, 35 p.
- Healey, G., Magnier, K.M., Ritter, R., Kamookak, R., Aningmiug, A., Issaluk, B., Mackenzie, K., Allarduce, L., Stockdale, A. et Moffit, P. (2011) : Community perspectives on the impact of climate change on health in Nunavut, Canada; *Arctic*, vol. 64, p. 89–97.
- Héquette, A. et Barnes, P.W. (1990) : Coastal retreat and shoreface profile variations in the Canadian Beaufort Sea; *Marine Geology*, vol. 91, p. 113–132.
- Herdes, E., Copland, L., Danielson, B. et Sharp, M. (2012) : Relationships between iceberg plumes and sea-ice conditions on northeast Devon Ice Cap, Nunavut, Canada; *Annals of Glaciology*, vol. 53, n° 60, p. 1–9.
- Heyes, S.A. (2011) : Cracks in the knowledge: sea ice terms in Kangiqsualujjuaq, Nunavik; *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, vol. 55, p. 69–90.
- Holland, M.M., Bitz, C.M. et Tremblay, B. (2004) : Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice; *Geophysical Research Letters*, vol. 33, 5 p. doi:23510.21029/22006GL028024
- Holubec Consulting Inc. (2008) : Flat loop thermosyphon foundations in warm permafrost; dans *Adapting to Climate Change: Canada's First National Engineering Vulnerability Assessment of Public Infrastructure*; rapport non publié du Conseil canadien des ingénieurs, 119 p., <<http://www.pws.gov.nt.ca/pdf/publications/Thermosyphon%20Foundations%20in%20warm%20permafrost%20.pdf>>.
- Hoque, M.A. et Pollard, W.H. (2009) : Arctic coastal retreat through block failure; *Revue canadienne de géotechnique*, vol. 46, p. 1103–1115. doi:1110.1139/T1109-1058
- Hoque, M.A., Solomon, S. et Perrie, W. (2009) : Modeling nearshore transport along the Canadian Beaufort Sea coast; *comptes rendus de GeoHalifax 2009*, 62^e conférence géotechnique canadienne et 10^e conférence conjointe SCG/AIH SNC sur les eaux souterraines, 20–24 septembre 2009, Halifax, Nouvelle-Écosse, p. 954–961.
- Hori Y., Tam B., Gough W.A., Ho-Foong E., Karagatzides J.D., Liberda E.N. et Tsuji L.J.S. (2012) : Use of traditional environmental knowledge to assess the impact of climate change on subsistence fishing in the James Bay region of northern Ontario, Canada; *Rural and Remote Health*, vol. 12, paper 1878 (online), 12 p., <<http://www.rnh.org.au/articles/subviewnew.asp?ArticleID=1878>>.

- Hovelsrud, G.K. et Smit, B., éditeurs (2010) : *Community Adaptation and Vulnerability in Arctic Regions*; Springer, Dordrecht, Pays-Bas, 353 p. doi:10.1007/978-90-481-9174-1
- Hovelsrud, G.K., McKenna, M. et Huntington, H.P. (2008) : Marine mammal harvests and other interactions with humans; *Ecological Applications*, vol. 18, p. S135–S147.
- Howell, S.E.L., Duguay, C.R. et Markus, T. (2009) : Sea ice conditions and melt season duration variability within the Canadian Arctic Archipelago: 1979–2008; *Geophysical Research Letters*, vol. 36, paper L10502, doi:10.1029/2009GL037681
- Hueffer, K., Parkinson, A.J., Gerlach, R. et Berner, J. (2013) : Zoonotic infections in Alaska: disease prevalence, potential impact of climate change and recommended actions for earlier disease detection, research, prevention and control; *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 72, 11 p. doi:10.3402/ijch.v720.19562
- Huet, C., Rosol, R. et Egeland, G.M. (2012) : The prevalence of food insecurity is high and the diet quality poor in Inuit communities; *Journal of Nutrition*, vol. 142, p. 541–547.
- Huntington, H.P. (2013) : Provisioning and cultural services; chapitre 18 dans *Arctic Biodiversity Assessment: Status and Trends in Arctic Biodiversity*, (éd.) H. Meltotte; Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF), Arctic Council, Akureyri, Islande, p. 592–626, <<http://www.caaff.is/assessment-series/223-arctic-biodiversity-assessment-2013-chapter-18-provisioning-and-cultural-service>>.
- Inuit Tapiriit Kanatami (2008) : Inuit statistical profile, Inuit Tapiriit Kanatami, Ottawa, Ontario, 16 p., <<https://www.itk.ca/publication/inuit-statistical-profile>>.
- Inuit Tapiriit Kanatami (sans date) : About Inuit – Inuit regions of Canada; Inuit Tapiriit Kanatami, Ottawa, Ontario, <<https://www.itk.ca/about-inuit/inuit-regions-canada>>.
- Ittaq Heritage and Research Centre (2015) : Clyde River Climate Change Adaptation Project; Ittaq Heritage and Research Centre.
- 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; *Geological Survey of Canada*, Ottawa, Ontario, Open File 7737, 72 p., <http://ftp2.cits.rncan.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; *Commission géologique du Canada*, Dossier public 7942, 81 p. doi: 10.4095/297048.
- Jenkins, E.J., Schurer, J.M. et Gesy, K.M. (2011) : Old problems on a new playing field: Helminth zoonoses transmitted among dogs, wildlife, and people in a changing northern climate; *Veterinary Parasitology*, vol. 182, p. 54–69.
- Jenssen, B.M. (2006) : Endocrine-disrupting chemicals and climate change: a worst-case combination for Arctic marine mammals and seabirds?; *Environmental Health Perspectives*, vol. 114, p. 76–80.
- Johnson, K. et Arnold, E. (2010) : *Kugluktuk Climate Change Adaptation Plan*; dans *Atulitqut: Action and Adaptation in Nunavut*; Gouvernement du Nunavut, Institut canadien des urbanistes, Ressources naturelles Canada et Affaires indiennes et du Nord Canada, Ottawa, Ontario, 35 p.
- Johnson, K., Solomon, S., Berry, D. et Graham, P. (2003) : Erosion progression and adaptation strategy in a northern coastal community; *comptes rendus de la 8^e conférence internationale sur le pergélisol*, 20–25 juillet, 2003, Zurich, Suisse, p. 489–494.
- 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, paper L03503, 5 p., <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GL036205/pdf>>.
- Kativik Regional Government (2012) : Renforcement des capacités et sensibilisation face aux changements climatiques pour la gestion publique locale et la planification territoriale au Nunavik: Rapport final; report submitted by Ouranos to Kativik Regional Government and Natural Resources Canada, <http://www.ouranos.ca/media/publication/283_rapportbarrettetgagnon2013.pdf>.
- Keskitalo, E.C.H. (2008a) : Climate Change and Globalization in the Arctic: An Integrated Approach to Vulnerability Assessment; Earthscan Climate, Taylor & Francis Group LLC, Abingdon, Royaume-Uni et New York, New York, 272 p.
- Keskitalo, E.C.H. (2008b) : Vulnerability and adaptive capacity in forestry in northern Europe: a Swedish case study; *Climatic Change*, vol. 87, p. 219–234.
- Khon, V.C., Mokhov, I.I., Pogarskiy, F.A., Babanin, A., Dethloff, K., Rinke, A. et Matthes, H. (2014) : Wave heights in the 21st century Arctic Ocean simulated with a regional climate model; *Geophysical Research Letters*, vol. 41, p. 2956–2961.
- Klein, R.J.T., Eriksen, S.E.H., Næss, L.O., Hammill, A., Tanner, T.M., Robledo, C. et O'Brien, K.L. (2007) : Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance; *Climatic Change*, vol. 84, p. 23–44.
- Knotsch, K. et Kinnon, D. (2011) : If not now...when? Addressing the ongoing Inuit housing crisis; *Organisation nationale de la santé autochtone*, Ottawa, Ontario, 74 p.
- Kobayashi, N., Vidrine, J.C., Nairn, R.B. et Solomon, S.M. (1999) : Erosion of frozen cliffs due to storm surge on Beaufort Sea coast; *Journal of Coastal Research*, vol. 15, p. 332–344.
- Kokelj, S.V., Lantz, T.C., Solomon, S.M., Pisaric, M.F.J., Keith, D., Morse, P., Thienpont, J. R., Smol, J.P. et Esagok, D. (2012) : Using multiple sources of knowledge to investigate northern environmental change: regional ecological impacts of a storm surge in the outer Mackenzie Delta, N.W.T.; *Arctic*, vol. 65, p. 257–272.
- Konopczak, A.M., Manson, G.K. et Couture, N.J. (2014) : Variability of coastal change along the western Yukon coast; *Commission géologique du Canada*, Ottawa, Ontario, Dossier public 7516, 81 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/293/293788/of_7516.pdf>. doi:10.4095/293788
- Kovacs, A. (1983) : Shore ice ride-up and pile-up features, part 1: Alaska's Beaufort Sea coast; *Cold Regions Research and Engineering Laboratory*, Report 83-9, 50 p.
- Krupnik, I. et Jolly, D. (2002) : *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Climate Change*; Arctic Research Consortium of the United States, Fairbanks, Alaska, 356 p.
- Kuhnlein, H.V. et Receveur, O. (2007) : Local cultural animal food contributes high levels of nutrients for Arctic Canadian indigenous adults and children; *Journal of Nutrition*, vol. 137, p. 1110–1114.
- Kuhnlein, H.V., Receveur, O. et Chan, H.M. (2001) : Traditional food systems research with Canadian Indigenous peoples; *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 60, p. 112–122.
- Kulkarni, T., Watkins, J.M., Nickels, S. et Lemmen, D.S. (2012) : Canadian International Polar Year (2007–2008) : an introduction; *Climatic Change*, vol. 115, p. 1–11.
- Kunuk, Z. et Mauro, I.J. (2011) : *Qapirangajuk: Inuit knowledge and climate change*; Igloolik Isuma Productions Inc. <www.isuma.tv/ikcc>.
- Kushwhala, A. (2007) : Monitoring environmental change using Inuit *Qaujimajatuqanit* in Cape Dorset, Nunavut; thèse de maîtrise, Université Carleton Ottawa, Ontario, 119 p.
- Kwok, R., Cunningham, G.F., Wensnahan, M., Rigor, I. et Zwally, H.J. (2009) : Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008; *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 14, 16 p. doi:10.1029/2009JC005312
- Laidler, G.J. et Elee, P. (2008) : Human geographies of sea ice: freeze/thaw processes around Cape Dorset, Nunavut, Canada; *Polar Record*, vol. 44, p. 51–76.
- Laidler, G.J. et Ikummaq, T. (2008) : Human geographies of sea ice: freeze/thaw processes around Igloolik, Nunavut, Canada; *Polar Record*, vol. 44, p. 127–153.
- Laidler, G.J., Ford, J.D., Gough, W.A., Ikummaq, T., Gagnon, A.S., Kowal, S., Qrunnuit, K. et Irngaut, C. (2009) : Travelling and hunting in a changing Arctic: assessing Inuit vulnerability to sea ice change in Igloolik, Nunavut; *Climatic Change*, vol. 94, p. 363–397.
- Laidler, G.J., Hirose, T., Kapfer, M., Ikummaq, T., Joamie, E. et Elee, P. (2011) : Evaluating the Floe Edge Service: how well can SAR imagery address Inuit community concerns around sea ice change and travel safety?; *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, vol. 55, p. 91–107.
- Lamoureux, S., Forbes, D.L., Bell, T., Manson, G.K., Rudy, A.C.A., Lalonde, J., Brown, M., Smith, I.R., James, T.S., Couture, N.J., Whalen, D.J.R. et Fraser, P.R. (2015) : The impact of climate change on infrastructure in the western and central Canadian Arctic; chapitre 7 dans *From Science to Policy in the Western and Central Canadian Arctic: An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of Climate Change and Modernization*, (éd.) G.A. Stern et A. Gadden; ArcticNet, Québec, Québec, p. 300–341.
- Lantuit, H. et Pollard, W.H. (2008) : Fifty years of coastal erosion and retrogressive thaw slump activity on Herschel Island, southern Beaufort Sea, Yukon Territory, Canada; *Geomorphology*, vol. 95, p. 84–102. doi:10.1016/j.geomorph.2006.1007.1040
- Lantz, T.C., Kokelj, S.V. et Fraser, R.H. (2015) : Ecological recovery in an Arctic delta following widespread saline incursion; *Ecological Applications*, vol. 25, p. 172–185.

- Larsen, J.N., Anisimov, O.A., Constable, A., Hollowed, A.B., Maynard, N., Prestrud, P., Prowse, T.D. et Stone, J.M.R. (2014) : Polar regions; 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, (éd.), M. Ananicheva et F.S. Chaplin III; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 1567–1612, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap28_FINAL.pdf>.
- Larsen, J.N., Fondahl, G., Nordic Council of Ministers et Nordic Council of Ministers Secretariat (2015) : Arctic Human Development Report: Regional Processes and Global Linkages (AHDR-II); Copenhagen, Nordisk Ministerrat, 504 p., <<http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:788965/FULLTEXT03.pdf>>.
- Lauriol, B. et Gray, J.T. (1980) : Processes responsible for the concentration of boulders in the intertidal zone in Leaf Basin, Ungava; dans *The Coastline of Canada*, (éd.) S.B. McCann; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Étude 80-10, p. 281–292, <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/102/102212/pa_80_10.pdf>.
- Leduc, T.B. (2006) : Inuit economic adaptations for a changing global climate; *Ecological Economics*, vol. 60, p. 27–35.
- Lemelin, R.H., Johnston, M.E., Dawson, J., Stewart, E.S. et Mattina, C. (2012) : From hunting and fishing to cultural tourism and ecotourism: examining the transitioning tourism industry in Nunavik; *The Polar Journal*, vol. 2, p. 39–60.
- Lemelin, R.H., Matthews, D., Mattina, C., McIntyre, N., Johnston, M., Koster, R. et Weenusk First Nation at Peawanuck (2010) : Climate change, wellbeing and resilience in the Weenusk First Nation at Peawanuck: the Moccasin Telegraph goes global; *Rural Remote Health*, vol. 10, 1 p.
- Lemmen, D.S., Johnston, M., Ste-Marie, C. et Pearce, T. (2014) : Ressources naturelles; dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, (éd.) F.J. Warren et D.S. Lemmen; Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 65–98, <<http://www.nrcan.gc.ca/environment/resources/publications/impacts-adaptation/reports/assessments/2014/16309>>.
- 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, Ontario, 448 p., <<http://www.nrcan.gc.ca/environment/resources/publications/impacts-adaptation/reports/assessments/2008/10253>>.
- L'Héroult, E., Allard, M., Fortier, D., Carboneau, A.-S., Doyon-Robitaille, J., Lachance, M.-P., Ducharme, M.-A., Larrivée, K., Grandmont, K. et Lemieux, C. (2013) : Production de cartes prédictives des caractéristiques du pergélisol afin de guider le développement de l'environnement bâti pour quatre communautés du Nunavik; Rapport final, Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec, Québec, 90 p.
- Lintern, D.G., Macdonald, R.W., Solomon, S.M. et Jakes, H. (2013) : Beaufort Sea storm and resuspension modeling; *Journal of Marine Systems*, vol. 127, p. 14–25. doi:10.1016/j.jmarsys.2011.1011.1015
- Lovecraft, A.L. et Eicken, H. (2011) : North by 2020: Perspectives on Alaska's Changing Social-Ecological Systems; University of Alaska Press, Fairbanks, 736 p.
- MacDonald, J.P. (1998) : *The Arctic Sky: Inuit Astronomy, Star Lore and Legend*; Royal Ontario Museum, Toronto, Ontario et Nunavut Research Institute Iqaluit, Nunavut, 314 p.
- MacDonald, J.P., Harper, S.L., Wilcox, A.C., Edge, V.L. et Rigolet Inuit Community Government (2013) : A necessary voice: climate change and lived experiences of youth in Rigolet, Nunatsiavut, Canada; *Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions*, vol. 23, p. 360–371.
- Mackay, J.R. (1972) : Offshore permafrost and ground ice, southern Beaufort Sea; *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 9, p. 1550–1561.
- Manson, G.K. et Solomon, S.M. (2007) : Past and future forcing of Beaufort Sea coastal change; *Atmosphere-Ocean*, vol. 45, p. 107–122.
- Manson, G.K., Solomon, S.M., Forbes, D.L., Atkinson, D.E. et Craymer, M. (2005) : Spatial variability of factors influencing coastal change in the western Canadian Arctic; *Geo-Marine Letters*, vol. 25, p. 138–145.
- Marsh, P. et Schmidt, T. (1993) : Influence of a Beaufort Sea storm surge on channel levels in the Mackenzie Delta; *Arctic*, vol. 46, p. 35–41.
- Martin, D., Belanger, D., Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C. et Dery, S. (2007) : Drinking water and potential threats to human health in Nunavik: adaptation strategies under climate change conditions; *Arctic*, vol. 60, p. 195–202.
- Martini, I.P., Cowell, D.W. et Wickware, G.M. (1980) : Geomorphology of southwestern James Bay: a low energy, emergent coast; dans *The Coastline of Canada*, (éd.) S.B. McCann; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Étude 80-10, p. 293–301, <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/102/102212/pa_80_10.pdf>.
- Maslanik, J.A., Fowler, C., Stroeve, J., Drobot, S., Zwally, H.J., Yi, D. et Emery, W. (2007) : A younger, thinner Arctic ice cover: increased potential for rapid, extensive sea-ice loss; *Geophysical Research Letters*, vol. 34, paper L24501. doi:24510.21029/22007GL032043
- Maslanik, J.A., Stroeve, J., Fowler, C. et Emery, W. (2011) : Distribution and trends in Arctic sea ice age through spring 2011; *Geophysical Research Letters*, vol. 38, paper L13502. doi:13510.11029/12011GL047735
- Mate, D.J., Bowron, B., Davidson, G., Reinhart, F. et Westlake, M. (2012) : Nunavut Climate Change Partnership; dans *Climate Change Geoscience Program: 2006–2011 Final Program Report*, (éd.) A.N. Rencz; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 6879, p. 138–142, <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/290/290156/of_6879.pdf>. doi:10.4095/290156
- McCann, S.B., Dale, J.E. et Hale, P.B. (1981) : Subarctic tidal flats in areas of large tidal range, southern Baffin Island, eastern Canada; *Géographie physique et quaternaire*, vol. 35, p. 183–204.
- McClymont Peace, D. et Myers, E. (2012) : Community-based participatory process – climate change and health adaptation program for northern First Nations and Inuit in Canada; *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 71, 8 p.
- McDowell, G., Ford, J.D., Lehner, B., Berrang-Ford, L. et Sherpa, A. (2013) : Climate-related hydrological change and human vulnerability in remote mountain regions: a case study from Khumbu, Nepal; *Regional Environmental Change*, vol. 13, p. 299–310.
- McKinney, M.A., Peacock, E. et Letcher, R.J. (2009) : Sea ice–associated diet change increases the levels of chlorinated and brominated contaminants in polar bears; *Environmental Science and Technology*, vol. 43, p. 4334–4339.
- McLoughlin, P.D., Taylor, M. et Dowley, D. (2008) : Update COSEWIC status report on the polar bear (*Ursus maritimus*); rapport préparé à l'intention du Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Gouvernement du Nunavut, Ministère de l'Environnement, Status Report 32, 59 p.
- Meier, W.N., Stroeve, J. et Gearheard, S. (2006) : Bridging perspectives from remote sensing and Inuit communities on changing sea-ice cover in the Baffin Bay region; *Annals of Glaciology*, vol. 44, p. 433–438.
- Mekis, É. et Vincent, L.A. (2011a) : An overview of the second generation adjusted daily precipitation dataset for trend analysis in Canada; *Atmosphere-Ocean*, vol. 49, p. 163–177.
- Mekis, É. et Vincent, L.A. (2011b) : Trends in indices related to agroclimatic conditions based on homogenized temperature and adjusted precipitation in Canada; 19th Conference on Applied Climatology, 18–20 juillet 2011, Asheville, Caroline du Nord, <<http://ams.confex.com/ams/19Applied/webprogram/Paper190186.html>>.
- Melling, H., Francois, R., Myers, P.G., Perrie, W., Rochon, A. et Taylor, R.L. (2012) : The Arctic Ocean – a Canadian perspective from IPY; *Climatic Change*, vol. 115, p. 89–113.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) : *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*; Island Press, Washington, District de Columbia, 137 p., <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>.
- Mueller, D.R., Copland, L., Hamilton, A. et Stern, D. (2008) : Examining Arctic ice shelves prior to the 2008 breakup; *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 89, no. 49, p. 502–503.
- Nairn, R.B., Solomon, S., Kobayashi, N. et Vidrine, J. (1998) : Development and testing of a thermal-mechanical numerical model for predicting Arctic shore erosion process; *comptes rendus de la 7^e conférence internationale sur le pergélisol, 23–27 juin 1998, Yellowknife, Territoires du Nord-Ouest*, p. 789–796.
- Natcher, D.C., Huntington, O., Huntington, H., Chapin, F.S., III, Trainor, S.F. et DeWilde, L.O. (2007) : Notions of time and sentience: methodological considerations for Arctic climate change research; *Arctic Anthropology*, vol. 44, p. 113–126.
- Ressources naturelles Canada (1995) : Canada: pergélisol; dans *l'Atlas national du Canada, 5^e édition*; Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario, échelle 1:7 500 000, <<http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/atlas/archives/francais/5thedition/environment/land/mcr4177.pdf>>.
- Nickels, S., Furgal, C., Buell, M. et Moquin, H. (2006) : *Unikkaaqatigiit* – putting the human face on climate change: perspectives from Inuit in Canada; publication conjointe du Inuit Tapiriniq, du Centre pour la santé des Inuits et les changements environnementaux Nasivik à l'Université Laval et le Centre Ajunnginiq de l'Organisation nationale de la santé autochtone, 195 p.
- Nickels, S., Furgal, C., Castleden, J., Moss-Davies, P., Buell, M., Armstrong, B., Dillon, D. et Fonger, R. (2002) : Putting the human face on climate change through community workshops: Inuit knowledge, partnerships, and research; dans *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Arctic Environmental Change*, (éd.) I. Krupnik et D. Jolly; Arctic Research Consortium of the United States, Fairbanks, Alaska, p. 300–334.

- Nunavut Tunngavik Incorporated (2005) : What if the winter doesn't come?: Inuit perspectives on climate change adaptation challenges in Nunavut; résumé d'atelier, 15–17 mai 2005, Nunavut Tunngavik Incorporated, Iqaluit, Nunavut, 9 p.
- Nunavut Tunngavik Incorporated (2010) : 2010 Nunavut economic outlook report – Nunavut's second chance; Nunavut Tunngavik Incorporated, Nunavut, 88 p.
- Nunavut Tunngavik Incorporated (2012) : 2010–2011 annual report on the state of Inuit culture and society; Nunavut Tunngavik Incorporated, Nunavut, 66 p.
- Nunavut Tunngavik Incorporated (2014) : 2013–2014 annual report on the state of Inuit culture and society; Nunavut Tunngavik Incorporated, Nunavut, 52 p.
- Nuttall, M. (1998) : Protecting the Arctic: Indigenous Peoples and Cultural Survival; Taylor & Francis Group LLC, Abingdon, Royaume-Uni et New York, New York, 204 p.
- Nuttall, M. (2008) : Climate change and the warming politics of autonomy in Greenland; Indigenous Affairs, vol. 1–2, p. 44–51.
- O'Connor, F.M., Boucher, O., Gedney, N., Jones, C.D., Folberth, G.A., Coppel, R., Friedlingstein, P., Collins, W.J., Chappellaz, J., Ridley, J. et Johnson, C.E. (2010) : Possible role of wetlands, permafrost, and methane hydrates in the methane cycle under future climate change: a review; *Reviews of Geophysics*, vol. 48, paper RG4005, 33 p. doi:10.1029/2010RG000326
- Ohmagari, K. et Berkes, F. (1997) : Transmission of Indigenous knowledge and bush skills among the western James Bay Cree women of subarctic Canada; *Human Ecology*, vol. 25, p. 197–222.
- 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, 6 p.
- Owens, E.H. (1994) : Canadian coastal environments, shoreline processes, and oil spill cleanup; Environnement Canada, Direction des urgences environnementales, Ottawa, Ontario, 328 p., <<http://publications.gc.ca/site/eng/41228/publication.html>>.
- Parkinson, A.J. et Berner, J. (2009) : Climate change and impacts on human health in the Arctic: an international workshop on emerging threats and the response of Arctic communities to climate change; *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 68, p. 84–91.
- Parkinson, A.J. et Evengard, B. (2009) : Climate change, its impact on human health in the Arctic and the public health response to threats of emerging infectious diseases; *Global Health Action*, vol. 2, <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2799221/>>. doi:10.3402/gha.v20.2075
- Parkinson, A.J., Bruce, M.G., Zulz, T. et International Circumpolar Surveillance Group (2008) : International Circumpolar International Surveillance, an Arctic network for surveillance of infectious diseases; *Emerging Infectious Diseases*, vol. 14, p. 18–24.
- Parlee, B., Manseau, M. et Lutsel K'e Dene First Nation (2005) : Understanding and communicating about ecological change: Denesoline indicators of ecosystem health; dans *Breaking Ice – Renewable Resource and Ocean Management in the Canadian North*, (éd.) F. Berkes, R. Huebert, H. Fast, M. Manseau et A. Diduck; University of Calgary Press, Calgary, Alberta, p. 165–182.
- Pearce, T. (2006) : Vulnerability and adaptation to environmental change in Ulukhaktok; thèse de maîtrise, Université de Guelph, Guelph, Ontario.
- Pearce, T., Ford, J.D., Caron, A. et Kudlak, B.P. (2012) : Climate change adaptation planning in remote, resource-dependent communities: an Arctic example; *Regional Environmental Change*, vol. 12, p. 825–837.
- Pearce, T., Ford, J.D., Cunsolo Wilcox, A. et Smit, B. (2015) : Inuit traditional ecological knowledge (TEK), subsistence hunting and adaptation to climate change in the Canadian Arctic; *Arctic*, vol. 68, no. 2, p. 233–246. doi:10.14430/arctic4475
- Pearce, T., Ford, J.D., Duerden, F., Smit, B., Andrachuk, M., Berrang-Ford, L. et Smith, T. (2011a) : Advancing adaptation planning for climate change in the Inuvialuit Settlement Region (ISR): a review and critique; *Regional Environmental Change*, vol. 11, no. 1, p. 1–17.
- Pearce, T., Ford, J.D., Duerden, F., Pittman, J., Beaumier, M., Berrang-Ford, L. et Smit, B. (2010a) : Climate change and mining in Canada; *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 16, no. 3, p. 347–368.
- Pearce, T., Smit, B., Duerden, F., Ford, J.D., Goose, A. et Kataoyak, F. (2010b) : Inuit vulnerability and adaptive capacity to climate change in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada; *Polar Record*, vol. 46, p. 157–177.
- Pearce, T., Wright, H., Notaina, R., Kudlak, A., Smit, B., Ford, J.D. et Furgal, C. (2011b) : Transmission of environmental knowledge and land skills among Inuit men in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada; *Human Ecology*, vol. 39, p. 271–288.
- Peloquin, C. et Berkes, F. (2009) : Local knowledge, subsistence harvests, and social-ecological complexity in James Bay; *Human Ecology*, vol. 37, p. 533–545.
- Pennesi, K., Arokium, J. et McBean, G. (2012) : Integrating local and scientific weather knowledge as a strategy for adaptation to climate change in the Arctic; *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 17, p. 897–922.
- Perovich, D., Meier, W., Tschudi, M., Gerland, S. et Richter-Menge, J. (2014) : Sea ice; dans *Arctic Report Card 2014*, (éd.) M.O. Jeffries, J. Richter-Menge et J.E. Overland; National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, District de Columbia, p. 32–38, <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/ArcticReportCard_full_report.pdf>.
- Perrie, W., Long, Z., Hung, H., Cole, A., Steffen, A., Dastoor, A., Durnford, D., Ma, J., Bottenheim, J.W., Drummond, J.R. et O'Neill, N.T. (2012) : Selected topics in Arctic atmosphere and climate; *Climatic Change*, vol. 115, p. 35–58.
- Pisaric, M.F.J., Thienpont, J.R., Kokelj, S.V., Nesbitt, H., Lantz, T.C., Solomon, S.M. et Smol, J.P. (2011) : Impacts of a recent storm surge on an Arctic delta ecosystem examined in the context of the last millennium; *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 108, p. 8960–8965.
- Pizzolato, L., Howell, S.E.L., Derksen, C., Dawson, J. et Copland, L. (2014) : Changing sea ice conditions and marine transportation activity in Canadian Arctic waters between 1990 and 2012; *Climatic Change*, vol. 23, p. 161–173.
- Pollard, W.H. (2000) : Distribution and characterization of ground ice on Fosheim Peninsula, Ellesmere Island, Nunavut; dans *Environmental Response to Climate Change in the Canadian High Arctic*, (éd.) M. Garneau et B.T. Alt; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Bulletin 529, p. 207–233, <http://ftp2.cits.mnc.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/211/211887/bu_529.pdf>.
- Poppel, B., Andersen, T., Eliassen, B.M., Melhus, M., Kruse, J., Ragnhild Broderstad, A., Duhaime, G., Édouard, R., Bernard, N., Morin, A., Lennert, M., Turcotte, C., Poppel, M., Beach, H. et Roto, J. (2015) : SLICA: Arctic living conditions – living conditions and quality of life among Inuit, Saami and Indigenous peoples of Chukotka and the Kola Peninsula, (éd.) B. Poppel; Nordic Council of Ministers et Nordic Council of Ministers Secretariat; Nordisk Ministerrad, Copenhagen, Danemark, 426 p., <<http://www.chaireconditionautochtone.fss.ulaval.ca/documents/pdf/SLICA-quality-of-life.pdf>>.
- Port of Churchill (sans date) : Port of Churchill: history; Hudson Bay Port Company, <<http://www.portofchurchill.ca/about/history>>.
- Post, E., Bhatt, U.S., Bitz, C.M., Brodie, J.F., Fulton, T.L., Hebblewhite, M., Kerby, J., Kutz, S.J., Stirling, I. et Walker, D.A. (2013) : Ecological consequences of sea-ice decline; *Science*, vol. 341, p. 519–524.
- Priest, H. et Usher, P.J. (2004) : The Nunavut wildlife harvest study, February 2004; Nunavut Wildlife Management Board, Iqaluit, Nunavut, 816 p.
- Proulx, J.F., MacLean, J.D., Gyorkos, T.W., Leclair, D., Richter, A.K., Serhir, B., Forbes, L. et Gajadhar, A.A. (2002) : Novel prevention program for trichinellosis in Inuit communities; *Clinical Infectious Diseases*, vol. 34, p. 1508–1514.
- Prowse, T.D. et Furgal, C. (2009) : Northern Canada in a changing climate: major findings and conclusions; *Ambio*, vol. 38, p. 290–292.
- Rachold, V., Grigoriev, M.N., Are, F.E., Solomon, S., Reimnitz, E., Kassens, H. et Antonow, M. (2000) : Coastal erosion vs. riverine sediment discharge in Arctic shelf seas; *International Journal of Earth Sciences*, vol. 89, p. 450–460.
- Radosavljevic, B., Lantuit, H., Pollard, W., Overduin, P., Couture, N., Sachs, T., Helm, V., et Fritz, M. (2015) : Erosion and Flooding—Threats to Coastal Infrastructure in the Arctic: A Case Study from Herschel Island, Yukon Territory, Canada; *Estuaries and Coasts*, p. 1–16. doi:10.1007/s12237-015-0046-0
- Rahmstorf, S., Box, J.E., Feulner, G., Mann, M.E., Robinson, A., Rutherford, S. et Schaffernicht, E.J. (2015) : Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation; *Nature Climate Change*, vol. 5, p. 475–480.
- Rampton, V.N. (1982) : Quaternary geology of the Yukon coastal plain; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Bulletin 317, 49 p., <<http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/downloade.web&search1=R=111347>>.
- Raphael, D., Curry-Stevens, A. et Bryant, T. (2008) : Barriers to addressing the social determinants of health: insights from the Canadian experience; *Health Policy*, vol. 88, p. 222–235.
- Rearic, D.M., Barnes, P.W. et Reimnitz, E. (1990) : Bulldozing and resuspension of shallow-shelf sediment by ice keels: implications for Arctic sediment transport trajectories; *Marine Geology*, vol. 9, p. 133–147.
- Receveur, O., Boulay, M. et Kuhnlein, H.V. (1997) : Decreasing traditional food use affects diet quality for adult Dene/Métis in 16 communities of the Canadian Northwest Territories; *The Journal of Nutrition*, vol. 127, n° 11, p. 2179–2186.
- Reimnitz, E., Barnes, P.W. et Harper, J.R. (1990) : A review of beach nourishment from ice transport of shoreface materials, Beaufort Sea, Alaska; *Journal of Coastal Research*, vol. 6, n° 2, p. 439–470.

- Reimnitz, E., Graves, S.M. et Barnes, P.W. (1988) : Map showing Beaufort Sea coastal erosion, sediment flux, shoreline evolution, and the erosional shelf profile; United States Geological Survey, Map I-1182-G, échelle 1:82 000, 22 p.
- Ribot, J. (2011) : Vulnerability before adaptation: toward transformative climate action; *Global Environmental Change*, vol. 21, p. 1160–1162.
- Riedlinger, D. (1999) : Climate change and the Inuvialuit of Banks Island, NWT: using traditional environmental knowledge to complement western science; *InfoNorth*, vol. 54, p. 430–432.
- Riedlinger, D. (2001) : Inuvialuit knowledge of climate change; dans *Pushing the Margins: Northern and Native Research*, (éd.) J. Oakes, R. Riewe, M. Bennett et B. Chisholm; Université du Manitoba, Native Studies Press, Winnipeg, Manitoba, p. 346–355.
- Riedlinger, D. et Berkes, F. (2001) : Contributions of traditional knowledge to understanding climate change in the Canadian Arctic; *Polar Record*, vol. 37, p. 315–328.
- Riedlsperger, R. (2013) : Vulnerability to changes in winter trails and travelling: a case study from Nunatsiavut; thèse de maîtrise, Memorial University of Newfoundland, Department of Geography, 220 p.
- Riedlsperger, R., Goldhar, C., Sheldon, T. et Bell, T. (sous presse) : Meaning and means of 'sustainability': an example from the Inuit Settlement Region of Nunatsiavut, northern Labrador; dans *Northern Sustainable: Proceedings of the Eighth International Congress of Arctic Social Sciences (ICASS VIII)*, (éd.) G. Fondahl et G. Wilson; University of Northern British Columbia Press.
- Robbins, M. (2007) : Development of tourism in Arctic Canada; dans *Prospects for Polar Tourism*, (éd.) J. Snyder et B. Stonehouse, CAB International, p. 84–101.
- Roberts, E. et Stewart, R.E. (2008) : On the occurrence of freezing rain and ice pellets over the eastern Canadian Arctic; *Atmospheric Research*, vol. 89, p. 93–109.
- Roberts, E., Nawri, N. et Stewart, R.E. (2008) : On the storms passing over southern Baffin Island during autumn 2005; *Arctic*, vol. 61, p. 309–321.
- Royer, M.J.S. et Herrmann, T.M. (2013) : Cree hunters' observations on resources in the landscape in the context of socio-environmental change in the eastern James Bay; *Landscape Research*, vol. 38, p. 443–460.
- Royer, M.J.S., Herrmann, T.M., Sonnentag, O., Fortier, D., Delusca, K. et Cuciurean, R. (2013) : Linking Cree hunters' and scientific observations of changing inland ice and meteorological conditions in the subarctic eastern James Bay region, Canada; *Climatic Change*, vol. 119, p. 719–732.
- Ruppel, C.D. (2011) : Methane hydrates and contemporary climate change; *Nature Education Knowledge*, vol. 3, no. 10, 11 p.
- Santé Canada (2009) : Santé de l'environnement et du milieu de travail : compréhension des conséquences des changements climatiques sur la santé; Santé Canada, Ottawa, Ontario, <<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/climat/impact/index-fra.php>>.
- Sayles, J. (2008) : Tapaitam: human modifications of the coast as adaptations to environmental change, Wemindji, eastern James Bay; thèse de maîtrise, Université Concordia, Montréal, Québec, 152 p., <<http://spectrum.library.concordia.ca/976127/>>.
- Sayles, J.S. et Mulrennan, M.E. (2010) : Securing a future: Cree hunters' resistance and flexibility to environmental changes, Wemindji, James Bay; *Ecology and Society*, vol. 15, 21 p.
- Schmidt, J.J. et Dowsley, M. (2010) : Hunting with polar bears: problems with the passive properties of the commons; *Human Ecology*, vol. 38, p. 377–387.
- Schneider von Deimling, T., Meinshausen, M., Levermann, A., Huber, V., Frieler, K., Lawrence, D.M. et Brovkin, V. (2012) : Estimating the near-surface permafrost-carbon feedback on global warming; *Biogeosciences*, vol. 9, p. 649–665. doi:10.5194/bg-9-649-2012
- Seguin, J., éditeur (2008) : Santé et changements climatiques : évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada; Santé Canada, Ottawa, Ontario, 524 p.
- Serreze, M.C., Holland, M.M. et Stroeve, J. (2007) : Perspectives on the Arctic's shrinking sea-ice cover; *Science*, vol. 315, p. 1533–1536.
- Service canadien des glaces (2007) : Canadian Ice Service digital archive – regional charts: Canadian Ice Service ice regime regions (CISIRR) and sub-regions with associated data quality indices; Service canadien des glaces, Archive Documentation Series, n° 3, 90 p.
- Shapiro, L.H. et Barnes, P.W. (1991) : Correlation of nearshore ice movement with seabed ice gouges near Barrow, Alaska; *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 96, p. 16979–16989.
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M-H. et Solomon, S. (1998) : Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Bulletin 505, 79 p.
- Sherman, M. et Ford, J. (2014) : Stakeholder engagement in adaptation interventions: an evaluation of projects in developing nations; *Climate Policy*, vol. 14, no. 3, p. 417–441.
- Simmonds, I. et Keay, K. (2009) : Extraordinary September Arctic sea ice reductions and their relationships with storm behavior over 1979–2008; *Geophysical Research Letters*, vol. 36, paper L19715, 5 p. doi:10.1029/2009GL039810
- Simon, A., Chambellan, M., Ward, B.J., Simard, M., Proulx, J.F., Levesque, B., Bigras-Poulin, M., Rousseau, A.N. et Ogden, N.H. (2011) : Spatio-temporal variations and age effect on *Toxoplasma gondii* seroprevalence in seals from the Canadian Arctic; *Parasitology*, vol. 138, p. 1362–1368.
- Smith, H.A. et Sharp, K. (2012) : Indigenous climate knowledges; *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 3, no. 5, p. 467–476.
- Smith, I.R. et Forbes, D.L. (2014) : Reconnaissance assessment of landscape hazards and potential impacts of future climate change in Cambridge Bay, western Nunavut; dans *Summary of Activities 2013*; Bureau géoscientifique Canada-Nunavut, p. 159–170.
- Smith, I.R., Bell, T., Forbes, D.L. et Irvine, M.L. (2014) : Composite landscape hazard assessment, Clyde River, Baffin Island, Nunavut; Memorial University of Newfoundland, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, échelle 1:10 000.
- Smith, I.R., Irvine, M.L. et Bell, T. (2011) : Periglacial and permafrost geology, Clyde River, Baffin Island, Nunavut; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Carte géoscientifique du Canada ce Map 57 (version préliminaire), échelle 1:10 000. doi:10.4095/289602
- Smith, I.R., Irvine, M.L. et Bell, T. (2012a) : Surficial geology, Clyde River, Baffin Island, Nunavut; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Carte géoscientifique du Canada ce Map 57 (version préliminaire), échelle 1:10 000. doi:10.4095/289603
- Smith, I.R., Irvine, M.L., Bell, T., Forbes, D.L. et Allard M. (2012b) : Landscape hazard mapping in Clyde River and other Nunavut communities; dans *Climate Change Geoscience Program, 2006–2011: Final Program Report*, (éd.) A.N. Renz; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 6879, p. 100–102. doi:10.4095/290156
- Smith, J.B., Vogel, J.M. et Cromwell, J.E. (2009) : An architecture for government action on adaptation to climate change – an editorial comment; *Climatic Change*, vol. 95, p. 53–61.
- Smith, L.C. et S.R. Stephenson (2013) : New trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury; *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 110, p. E1191–E1195.
- Smith, S.L. et Burgess, M.M. (2004) : Sensitivity of permafrost to climate warming in Canada; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Bulletin 579, 24 p.
- Smith, S.L., Riseborough, D.W., Ednie, M. et Chartrand, J., (2013) : A map and summary database of permafrost temperatures in Nunavut, Canada; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 7393, 20 p. doi:10.4095/292615
- Snyder, J. (2007) : Tourism in the Polar regions: the sustainability challenge; Programme des Nations Unies pour l'environnement et International Ecotourism Society, UNEP/Earthprint, 55 p.
- Solomon, S.M. (2005) : Spatial and temporal variability of shoreline change in the Beaufort-Mackenzie region, Northwest Territories, Canada; *Geo-Marine Letters*, vol. 25, p. 127–137.
- Solomon, S.M., Forbes, D.L. et Keirstead, B. (1994) : Coastal impacts of climate change: Beaufort Sea erosion study; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 2890, 84 p. doi:10.4095/194148
- Solomon, S.M., Taylor, A.E. et Stevens, C.W. (2008) : Nearshore ground temperatures, seasonal ice bonding and permafrost formation within the bottom-fast ice zone, Mackenzie Delta, NWT; competes rendus de la 9^e conférence internationale sur le pergélisol, 29 juin au 30 juillet, Fairbanks, Alaska, p. 1675–1680.
- Squire, V.A. (2007) : Of ocean waves and sea-ice revisited; *Cold Regions Science and Technology*, vol. 49, p. 110–133.
- Stantec (2015) : Summary results: Manitoba-Nunavut supply chain study; rapport préliminaire remis à Ressources naturelles Canada, Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ottawa, Ontario.
- Statistique Canada (2011) : Profil de recensement : Iqaluit et Nanavut; Statistique Canada, <<http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=E&Geo1=CSD&Code1=6204003&Geo2=PR&Code2=62&Data=Count&SearchText=Iqaluit&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=All&GeoLevel=PR&GeoCode=6204003>>.

- Statistique Canada (2013) : Les peuples autochtones au Canada: Premières nations, Métis et Inuit; Statistique Canada, Enquête nationale auprès des ménages, 2011, n° de catalogue 99-011-X2011001, <<http://www12.statcan.gc.ca/nhs-enm/2011/as-sa/99-011-x/99-011-x2011001-fra.cfm>>.
- Stephenson, S.R., Smith, L.C. et Agnew, J.A. (2011) : Divergent long-term trajectories of human access to the Arctic; *Nature Climate Change*, vol. 1, p. 156–160.
- Stewart, E.J. et Dawson, J. (2011) : A matter of good fortune? The grounding of the clipper *Adventurer* in the Northwest Passage, *Arctic Canada*; *Arctic*, vol. 64, p. 263–267.
- Stewart, E.J., Dawson, J.D. et Draper, D. (2010) : Monitoring patterns of cruise tourism across Arctic Canada; dans *Cruise Tourism in the Polar Regions: Promoting Environmental and Social Sustainability*, (éd.) M. Lück, P.T., Maher et E.J. Stewart; Earthscan, Taylor & Francis Group LLC, Abingdon, Royaume-Uni et New York, New York, p. 133–145.
- Stewart, E. J., Dawson, J. et Draper, D. (2011) : Cruise tourism and residents in Arctic Canada: development of a resident attitude typology; *Journal of Hospitality and Tourism Management*, vol. 18, p. 95–106.
- Stewart, E.J., Howell, S.E.L., Draper, D., Yackel, J. et Tivy, A. (2007) : Sea ice in Canada's Arctic: implications for cruise tourism; *Arctic*, vol. 60, p. 370–380.
- St-Hilaire-Gravel, D., Forbes, D.L. et Bell, T. (2012) : Multitemporal analysis of a gravel-dominated coastline in the central Canadian Arctic Archipelago; *Journal of Coastal Research*, vol. 28, p. 421–441.
- Stirling, I. (2012) : Polar bears: the natural history of a threatened species; Fitzhenry and Whiteside, Markham, Ontario, 300 p.
- Stroeve, J.C., Markus, T., Boisvert, L., Miller, J. et Barrett, A. (2014) : Changes in Arctic melt season and implications for sea ice loss; *Geophysical Research Letters*, vol. 41, p. 1216–1225. doi:10.1002/2013GL058951
- Stroeve, J.C., Serreze, M.C., Kay, J.E., Holland, M.M., Meier, W.N. et Barrett, A.P. (2012) : The Arctic's rapidly shrinking sea ice cover: a research synthesis; *Climatic Change*, vol. 110, p. 1005–1027. doi:10.1007/s10584-10011-10101-10581
- Syvitski, J.P.M., Burrell, D.C. et Skei, J.M. (1987) : *Fjords: Processes and Products*; Springer, Dordrecht, Pays-Bas, 379 p.
- Tam, B. et Gough, W.A. (2012) : Examining past temperature variability in Moosonee, Thunder Bay and Toronto, Ontario, Canada through a day-to-day variability framework; *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 110, p. 103–113
- Tam, B.Y., Gough, W.A., Edwards V. et Tsuji, L.J.S. (2013) : The impact of climate change on the lifestyle and well-being of a First Nation community in the western James Bay region; *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, vol. 57, p. 441–456.
- Tartu, S., Goutte, A., Bustamante, P., Angelier, F., Moe, B., Clément-Chastel, C., Bech, C., Gabrielsen, G.W., Bustnes, J.O. et Chastel, O. (2013) : To breed or not to breed: endocrine response to mercury contamination by an Arctic seabird; *Biology Letters*, vol. 9, paper 20130317, 4 p., <<http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/roybiolett/9/4/20130317.full.pdf>>.
- Taylor, A.E., Dallimore, S.R. et Outcalt, S.I. (1996) : Late Quaternary history of the Mackenzie-Beaufort region, Arctic Canada, from modelling of permafrost temperatures: 1. the onshore-offshore transition; *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 33, p. 52–61.
- Taylor, R.B. (1980) : Coastal reconnaissance for marine terminal planning in the Sverdrup Basin, N.W.T.; Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario, Dossier public 693, 150 p.
- Thomson, J. et Rogers, W.E. (2014) : Swell and sea in the emerging Arctic ocean; *Geophysical Research Letters*, vol. 41, p. 3136–3140. doi:3110.1002/2014GL059983
- Thorpe, N., Eyegetok, S., Hakongak, N. et les aînés de Kitikmeot (2002) : "Nowadays it is not the same": Inuit *Quajimajatuqangit*, climate and caribou in the Kitikmeot region of Nunavut, Canada: climate change and health in Nunavik and Labrador; dans *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Climate Change*, (éd.) I. Krupnik, et D. Jolly; Arctic Research Consortium of the United States, Fairbanks, Alaska, p. 198–239.
- Tivy, A., Howell, S.E., Alt, B., McCourt, S., Chagnon, R., Crocker, G., Carrieres, T. et Yackel, J.J. (2011) : Trends and variability in summer sea ice cover in the Canadian Arctic based on the Canadian Ice Service Digital Archive, 1960–2008 and 1968–2008; *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 116, no. C3, <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009JC005855/full>>.
- Tremblay, J.É., Robert, D., Varela, D.E., Lovejoy, C., Darnis, G., Nelson, R.J. et Sastri, A.R. (2012) : Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems: I. primary production; *Climatic Change*, vol. 115, p. 161–178.
- Tremblay, M., Furgal, C., Lafortune, V., Larrivee, C., Savard, J.P., Barrett, M., Annanack, T., Enish, N., Tookalook, P. et Etidloie, B. (2006) : Communities and ice: linking traditional and scientific knowledge; dans *Climate Change: Linking Traditional and Scientific Knowledge*, (éd.) R. Riewe et J. Oakes; Aboriginal Issues Press, Winnipeg, Manitoba, p. 123–138.
- Tremblay, M., Furgal, C., Larrivee, C., Annanack, T., Tookalook, P., Qisik, M., Angiyou, E., Swappie, N., Savard, J.P. et Barrett, M. (2008) : Climate change in northern Quebec: adaptation strategies from community-based research; *Arctic*, vol. 61, p. 27–34.
- Turner, N. et Clifton, H. (2009) : "It's so different today": climate change and Indigenous lifeways in British Columbia, Canada; *Global Environmental Change*, vol. 19, p. 180–190.
- Twynam, G.D. et Johnston, M.E. (2002) : The use of sustainable tourism practices; *Annals of Tourism Research*, vol. 29, p. 1165–1168.
- UMA Engineering Ltd. (1994) : *Tuktoyaktuk shoreline protection study, phases 2 and 3*; rapport rédigé à l'intention du Government of the Northwest Territories, Department of Municipal and Community Affairs, Yellowknife, Territoires du Nord-Ouest, 75 p.
- Van Wychen, W., Burgess, D.O., Gray, L., Copland, L., Sharp, M., Dowdeswell, J. et Benham, T. (2014) : Glacier velocities and dynamic ice discharge from the Queen Elizabeth Islands, Nunavut, Canada; *Geophysical Research Letters*, vol. 41, no. 2, p. 484–490. doi:10.1002/2013GL058558
- Vaughan, D.G., Comiso, J.C., Allison, I., Carrasco, J., Kaser, G., Kwok, R., Mote, P., Murray, T., Paul, F., Ren, J., Rignot, E., Solomina, O., Steffen, K. et Zhang, T. (2013) : Observations: cryosphere; dans *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, contribution au Groupe de travail I au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, (éd.) 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; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, USA, p. 317–382, <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf>.
- Vermaire, J.C., Pisaric, M.F.J., Thienpont, J.R., Courtney Mustaphi, C.J., Kokelj, S.V. et Smol, J.P. (2013) : Arctic climate warming and sea ice declines lead to increased storm surge activity; *Geophysical Research Letters*, vol. 40, p. 1386–1390. doi:10.1002/grl.50191
- Wadhams, P., Squire, V.A., Goodman, D.J., Cowan, A.M. et Moore, S.C. (1988) : The attenuation rates of ocean waves in the marginal ice zone; *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 93, p. 6799–6818.
- Walker, H.J. (1988) : Permafrost and coastal processes; *comptes rendus de la 5^e conférence internationale sur le pergélisol*, Trondheim, Norvège, 2–5 août 1998, vol. 33, p. 35–42.
- Wang, M. et Overland, J.E. (2012) : A sea ice free summer Arctic within 30 years – an update from CMIP5 models; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, paper L1850. doi:10.1029/2012GL052868
- Wang, X.L. (2006) : Climatology and trends in some adverse and fair weather conditions in Canada, 1953–2004; *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 111, no. D9, 27 p. doi:10.1029/2005JD006155
- Weatherhead, E., Gearheard, S. et Barry, R.G. (2010) : Changes in weather persistence: insight from Inuit knowledge; *Global Environmental Change*, vol. 20, p. 523–528.
- Wenzel, G. (1995a) : *Ningiqtuq: resource sharing and generalized reciprocity in Clyde River, Nunavut*; Arctic Anthropology, vol. 32, p. 43–60.
- Wenzel, G. (1995b) : Warming the Arctic: environmentalism and Canadian Inuit; dans *Human Ecology and Climate Change*, (éd.) D.L Peterson et D.R. Johnson; Taylor and Francis Group LLC, Washington, District de Columbia, p. 169–184.
- Wenzel, G. (2005) : Nunavut Inuit and polar bear: the cultural politics of the sports hunt; *Senri Ethnological Studies*, vol. 67, p. 363–388.
- Wenzel, G. (2009) : Canadian Inuit subsistence and ecological instability – if the climate changes, must the Inuit?; *Polar Research*, vol. 28, p. 89–99.
- Wenzel, G. (2013) : Inuit and modern hunter-gatherer subsistence; *Études/Inuit/Studies*, vol. 37, p. 181–200.

- Wesche, S.D. et Chan, H.M. (2010) : Adapting to the impacts of climate change on food security among Inuit in the western Canadian Arctic; *Ecohealth*, vol. 7, p. 361–373.
- White, A., Copland, L., Mueller, D. et van Wychen, W. (2015) : Assessment of historical changes (1959–2012) and the causes of recent break-ups of the Petersen ice shelf, Nunavut, Canada; *Annals of Glaciology*, vol. 56, no. 69, p. 65–76.
- Williamson, S., Sharp, M., Dowdeswell, J. et Benham, T. (2008) : Iceberg calving rates from northern Ellesmere Island ice caps, Canadian Arctic, 1999–2003; *Journal of Glaciology*, vol. 54, no. 186, p. 391–400.
- Wolf, J., Alice, I. et Bell, T. (2013) : Values, climate change, and implications for adaptation: evidence from two communities in Labrador, Canada; *Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions*, vol. 23, p. 548–562.
- Wolfe, B.B., Armitage, D., Wesche, S., Brock, B.E., Sokal, M.A., Clogg-Wright, K.P., Mongeon, C.L., Adam, M.E., Hall, R.I. et Edwards, T.W.D. (2007) : From isotopes to TK interviews: towards interdisciplinary research in Fort Resolution and the Slave River delta, Northwest Territories; *Arctic*, vol. 60, p. 75–87.
- Wolfe, S.A., Dallimore, S.R. et Solomon, S.M., (1998) : Coastal permafrost investigations along a rapidly eroding shoreline, Tuktoyaktuk, N.W.T.; *comptes rendus de la 7^e conférence sur le pergélisol*, (éd.) A.G. Lewkowicz et M. Allard; Centre d'études nordique, Université Laval, Québec, p. 1125–1131.
- Woo, M.K., Mollinga, M. et Smith, S.L. (2007) : Climate warming and active layer thaw in the boreal and tundra environments of the Mackenzie Valley; *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 44, n^o 6, p. 733–743.
- Young, T.K. (2013) : Circumpolar health – what is next?; *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 72, 4 p., <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3752287/>.
- Young, T.K. et Chatwood, S. (2011) : Health care in the North: what Canada can learn from its circumpolar neighbours; *Journal de l'Association médicale canadienne*, vol. 183, no. 2, p. 209–214, <http://www.cmaj.ca/content/183/2/209.short>.
- Zhou, F., Zhang, A., Li, R., Hoeve, E. et Majid, A. (2007) : Potential climate change-induced permafrost degradation and building foundations: an assessment of impacts and costs for five case communities in the Northwest Territories; rapport remis à Ressources naturelles Canada, Division des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques, Ottawa, Ontario, 115 p.

ANNEXE A

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

Les changements prévus dans le niveau relatif de la mer jusqu'en 2100 sont indiqués ici pour 22 endroits, montrés sur la carte jointe (figure A1), pour la région de la côte Nord (selon James et al., 2014, sous presse; section 2.4.4 du présent chapitre 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., 2013a, b) et ont été produites en tenant compte du déplacement vertical de la croûte terrestre tiré des observations GPS.

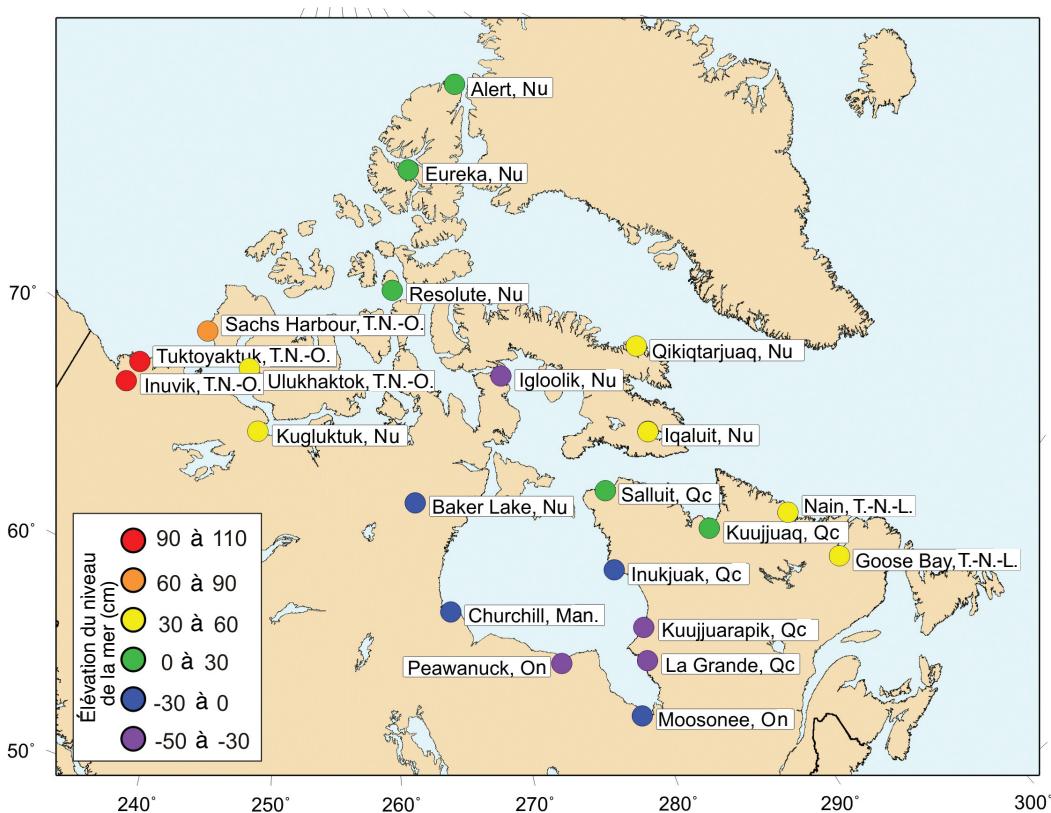


FIGURE A1 : Endroits pour lesquels les prévisions du niveau de la mer sont fournies pour tout le XXI^e siècle (figure A2). Les points sont chromocodés de façon à indiquer le changement prévu du niveau de la mer en 2100 pour le 95^e centile du scénario à émissions élevées (RCP8.5; selon James et al.,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

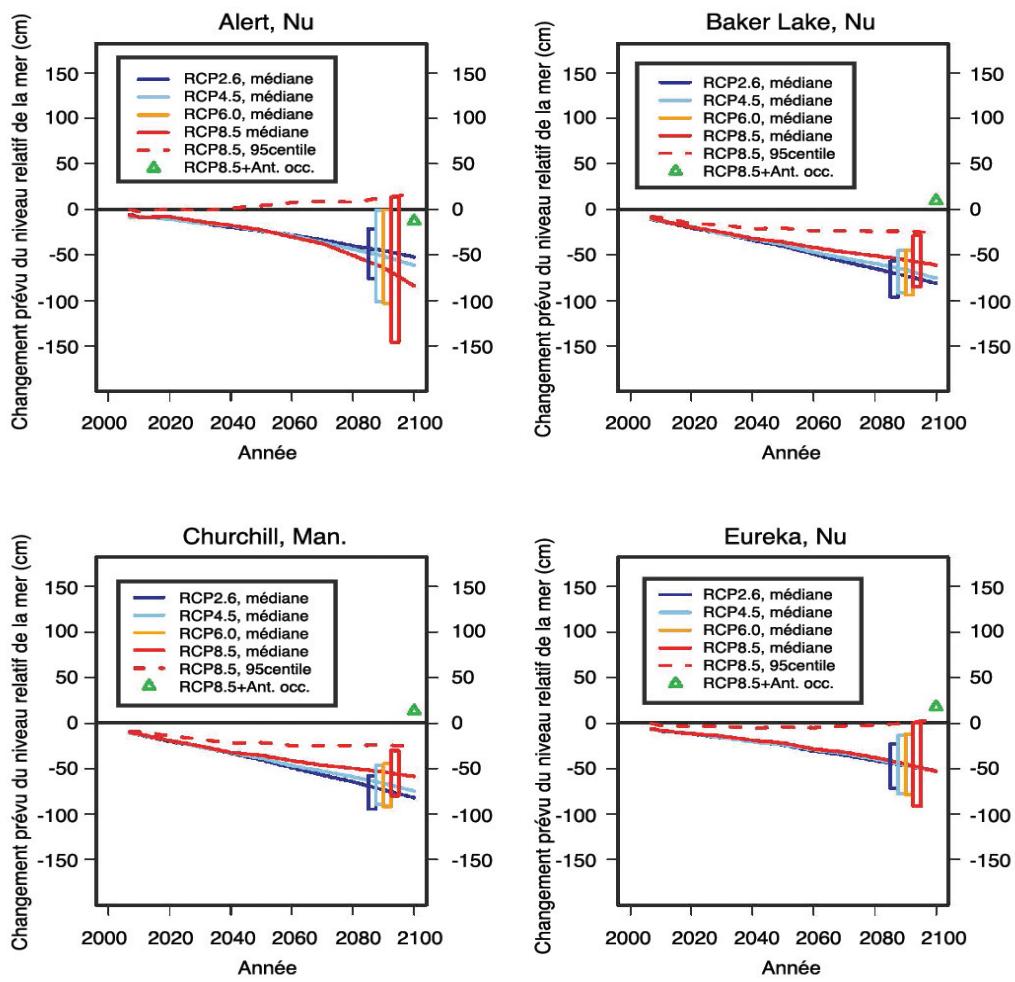
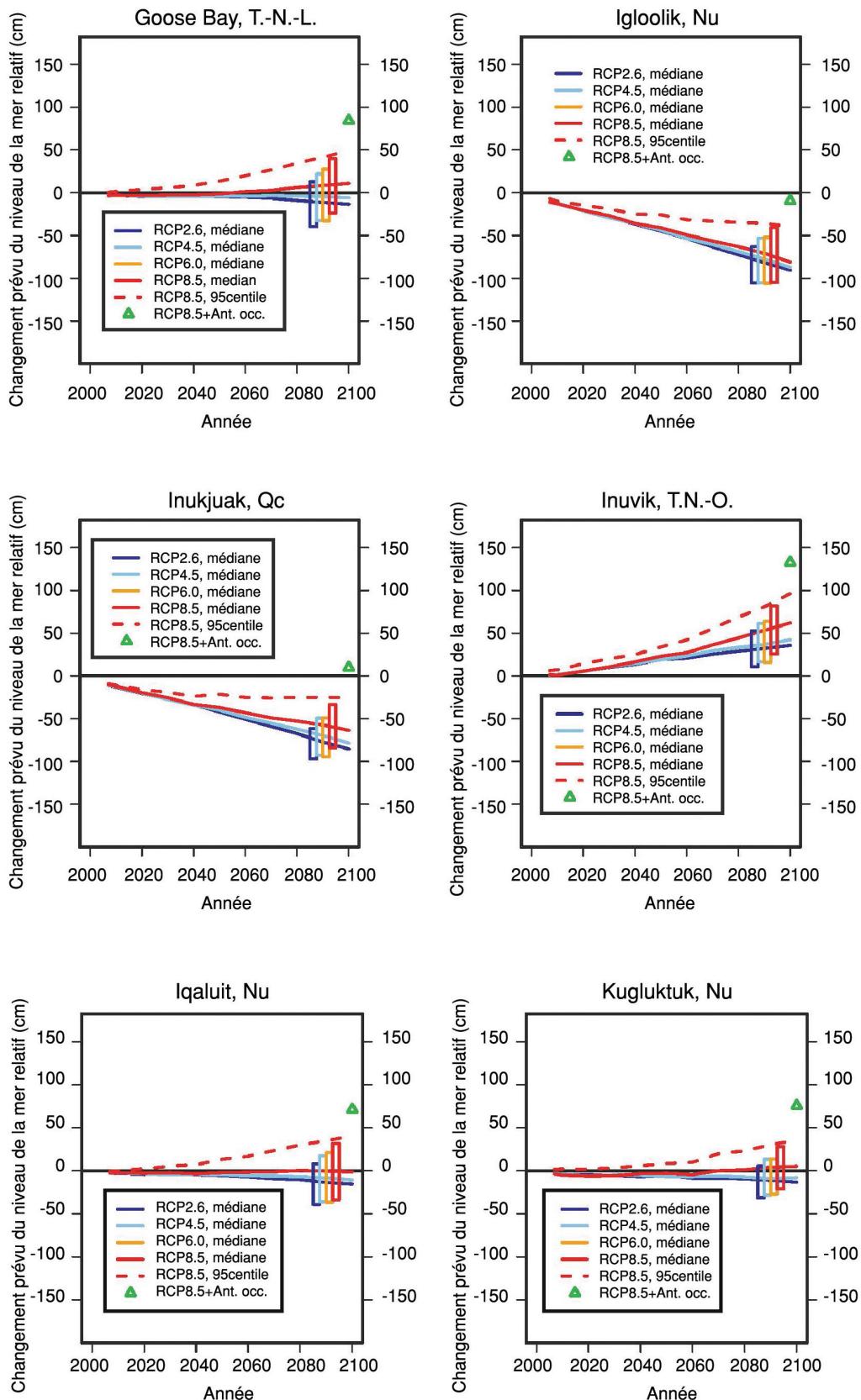
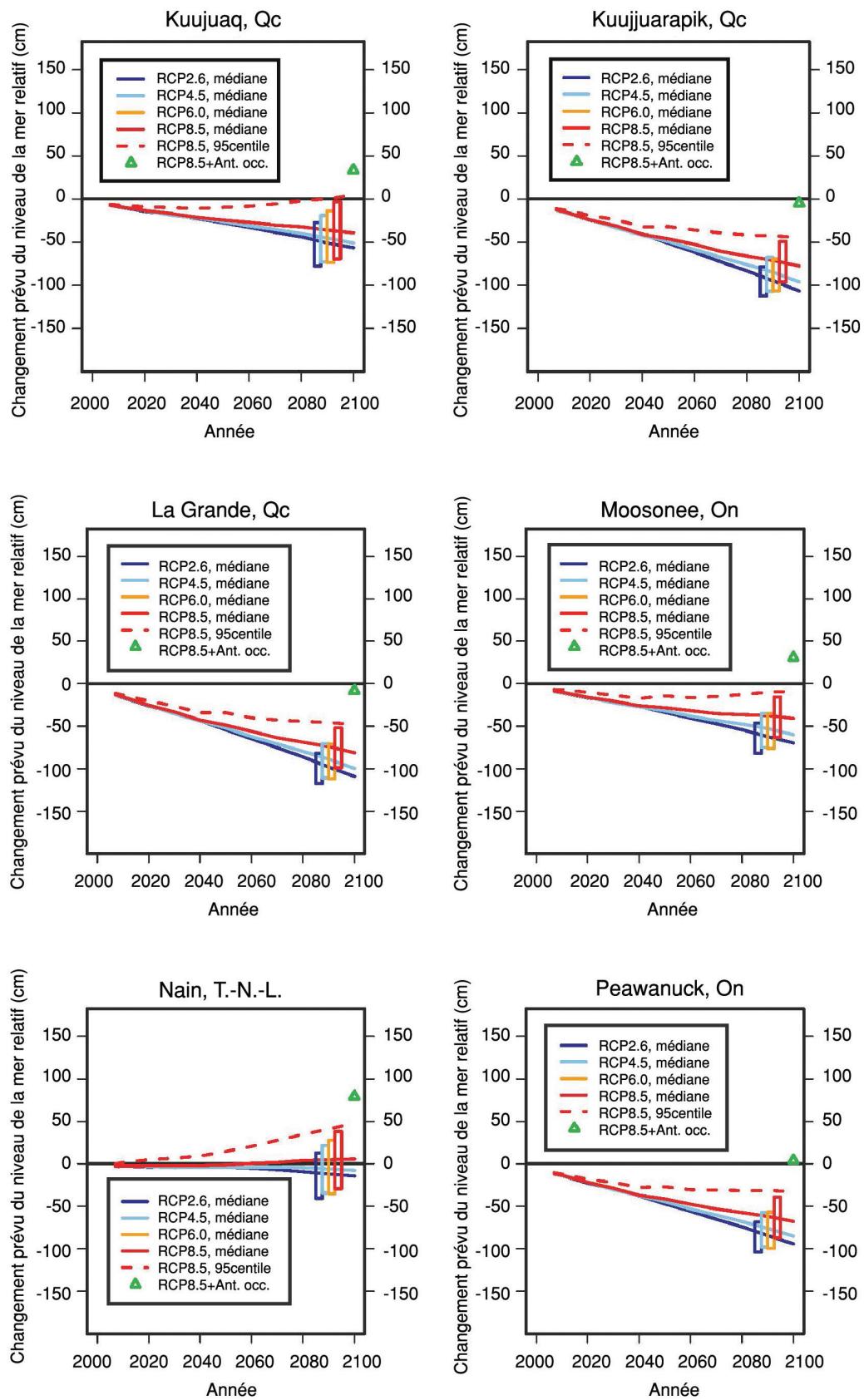


FIGURE A2 : Changements prévus du niveau relatif de la mer pendant tout le XXI^e siècle pour des endroits choisis dans la région de la côte Nord (selon James et al., 2014, sous presse). Le RCP2.6 est le scénario à émissions faibles, le RCP4.5 est un scénario à émissions modérées et le RCP8.5 est le scénario à émissions élevées. La valeur prévue pour 2100 est également indiquée pour le scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique dans lequel l'Antarctique occidental apporte une contribution supplémentaire de 65 cm à la valeur moyenne 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 pour la période s'étendant de 2081 à 2100 et comprennent le RCP6.0. Les rectangles sont décalés afin d'assurer la clarté de la présentation, mais portent sur l'année médiane de 2090. La ligne pointillée rouge indique la valeur du 95^e centile pour le scénario à émissions élevées.

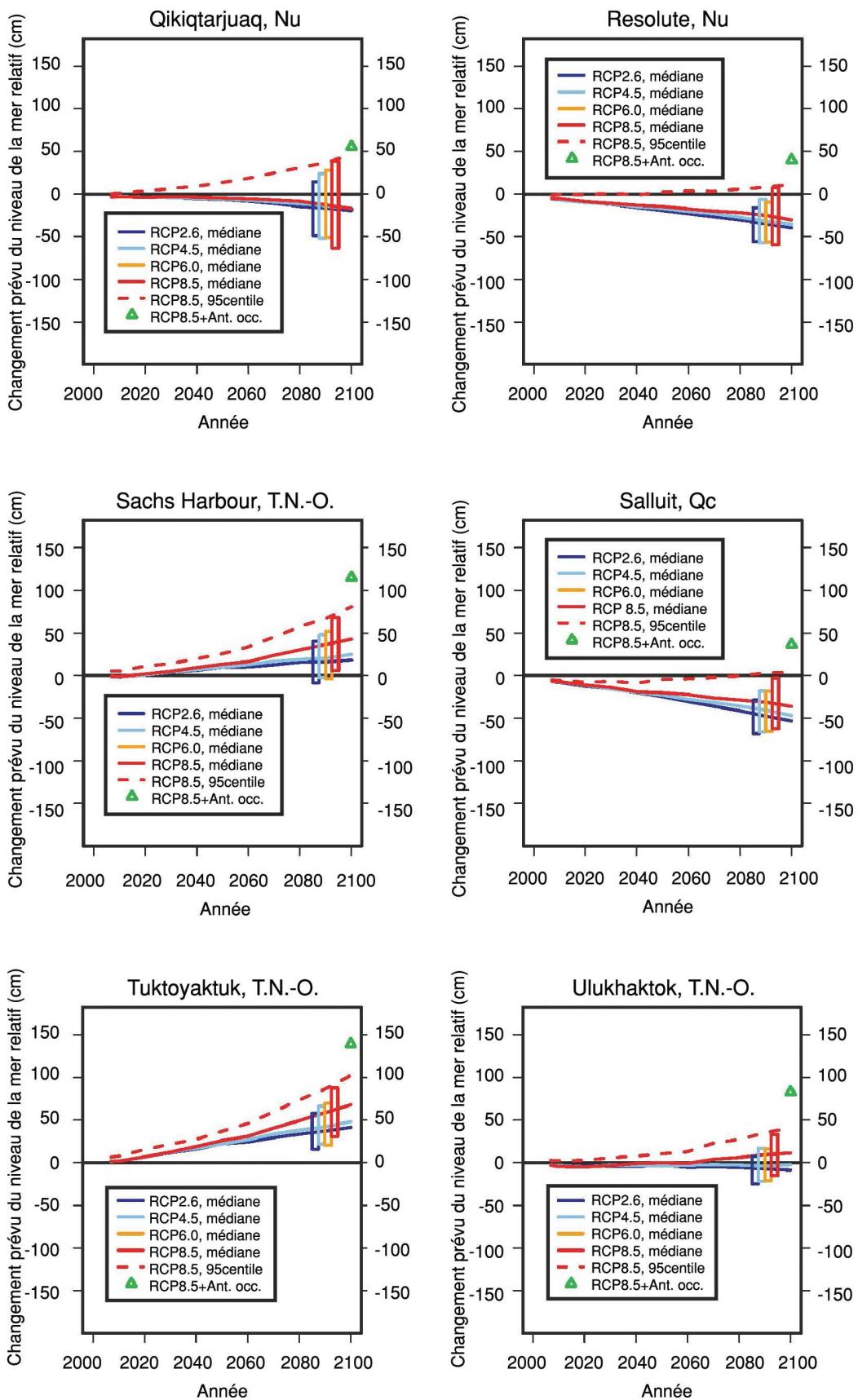
suite à la page suivante



suite à la page suivante



suite à la page suivante





CHAPITRE 6 : PERSPECTIVES RELATIVES À LA RÉGION DE LA CÔTE OUEST DU CANADA

Auteur principal :

Nathan Vadeboncoeur (*Université de British Columbia*)

Auteurs collaborateurs :

Thomas A. Okey (*West Coast Aquatic*), Marcus Schnorbus (*Pacific Climate Impacts Consortium*), Debbie Ianson (*Pêches et Océans Canada*), Deborah Carlson (*West Coast Environmental Law*), Chris Harley (*Université de British Columbia*), Daniel Pauly (*Université de British Columbia*), Marc Nelitz (*ESSA Technologies*), Hussein Alidina (*Fonds mondial pour la nature*), Rashid Sumaila (*Université de British Columbia*), William Cheung (*Université de British Columbia*), Tina Neale (*BC Climate Action Secretariat*), Thomas James (*Ressources naturelles Canada*), Arelia Werner (*Pacific Climate Impacts Consortium*), Pomme Arroz (*Université Simon Fraser*) et Rajesh Shrestha (*Pacific Climate Impacts Consortium*)

Collaborateurs aux études de cas :

Nikki Elliot (*District régional de la capitale*), Allan Gornal, Nancy Hofer et Craig Armstrong (*Ville de Courtenay*), Angela Danyluk (*Corporation de Delta*), Michael Epp (*Ville de North Vancouver*), Luke Sales (*Ville de Qualicum Beach*), Tasmin Mills (*Ville de Vancouver*), David Youngson (*Ville de West Vancouver*), Simon Robinson (*Administration de l'aéroport de Vancouver*), Ronan Chester (*Administration portuaire Vancouver-Fraser*) et Kate Miller (*District régional de Cowichan Valley*)

Notation bibliographique recommandée :

Vadeboncoeur, N. « Perspectives relatives à la région de la côte Ouest 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), 2016, p. 209–256.

TABLE DES MATIÈRES

PRINCIPALES CONCLUSIONS	211		
1 INTRODUCTION	212	4.2.1 LA CÔTE AMÉNAGÉE	227
1.1 PORTÉE ET ORGANISATION DU PRÉSENT CHAPITRE	213	4.2.2 ÉTUDES DE CAS COMMUNAUTAIRES PORTANT SUR L'ADAPTATION	229
		4.2.3 LEÇONS RETENUES	236
2 ÉVOLUTION DU CLIMAT RÉGIONAL	213	4.3 INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT	237
2.1 TEMPÉRATURE	214	4.3.1 AÉROPORTS	237
2.2 PRÉCIPITATIONS	214	4.3.2 INFRASTRUCTURE À L'INTÉRIEUR ET PRÈS DES PORTS	238
2.3 HYDROLOGIE	215	4.3.3 ROUTES	239
2.4 NIVEAU DE LA MER	217	4.3.4 BC FERRIES	240
3 CHANGEMENTS À LA STRUCTURE ET À LA FONCTION DES ÉCOSYSTÈMES	219	5 PLANIFICATION DE L'ADAPTATION	241
3.1 CONDITIONS MARITIMES : CIRCULATION, ACIDIFICATION ET SALINITÉ	220	5.1 ÉVOLUTION DES POLITIQUES EN MATIÈRE D'INONDATIONS CÔTIÈRES ET DE L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER	241
3.2 CONDITIONS DULÇAQUICOLES : TEMPÉRATURE FLUVIALE	220	5.1.1 UTILISATION DES TERRES	241
3.3 CHANGEMENTS ÉCOLOGIQUES MARINS	220	5.1.2 PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS	242
		5.1.3 REPRISE APRÈS CATASTROPHE	243
4 EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES SECTEURS ET LES COLLECTIVITÉS	221	5.2 PERSPECTIVES COMMUNAUTAIRES	243
4.1 PÊCHES	222	5.2.1 BESOINS EN MATIÈRE DE DONNÉES LOCALES	243
4.1.1 IMPACTS CLIMATIQUES	223	5.2.2 CONSÉQUENCES INVOLONTAIRES DE L'ADAPTATION	244
4.1.2 IMPACTS SUR LES TYPES DE PÊCHES	224		
4.2 IMPACTS ET RÉACTIONS COMMUNAUTAIRES	227	6 CONCLUSIONS	245
		7 RÉFÉRENCES	246

PRINCIPALES CONCLUSIONS

La côte de la Colombie-Britannique présente une grande variabilité du point de vue géographique, écologique et social. De la même manière, les changements climatiques prévus pour cette région et leurs impacts sont également variés. Même si les grands centres urbains, les petites agglomérations rurales et les collectivités des Premières nations seront touchés par les changements climatiques de manière différente, plusieurs conclusions importantes s'avèrent pertinentes pour la région dans son ensemble :

- **L'élévation du niveau de la mer ne touchera pas toutes les régions de la Colombie-Britannique de la même manière, surtout en raison des différences dans le déplacement vertical du terrain.** On prévoit que la plus grande élévation du niveau relatif de la mer se produira dans les basses-terres du fleuve Fraser, dans le sud de l'île de Vancouver et le long de la côte nord de la province. Des directives de planification en vue de l'élévation du niveau de la mer préparées par le gouvernement de la Colombie-Britannique prévoient des niveaux de planification légèrement supérieurs aux valeurs culminantes (95^e centile) des prévisions du niveau de la mer en 2050. Cela peut être considéré comme une marge de sécurité qui permet d'entrevoir une élévation supplémentaire possible du niveau de la mer découlant de facteurs auxquels s'attache un grand degré d'incertitude, comme les contributions de l'inlandsis antarctique.
- **Les inondations causées par les marées de tempête représentent une plus grande menace pour les collectivités côtières que ne le fait la seule élévation du niveau de la mer.** Les collectivités côtières composent déjà avec les niveaux d'eau extrêmes associés à la variabilité du climat (p. ex. oscillation australe El Niño/La Niña) et les inondations causées par les marées de tempête. On s'attend à ce que les risques associés à ces événements augmentent à mesure que le niveau de la mer s'élève. Les propriétés et infrastructures résidentielles, commerciales, institutionnelles et municipales de la région sont vulnérables et les collectivités ont commencé à agir en vue de réduire les risques en adoptant des mesures d'adaptation comme la protection des rivages.
- **Les écosystèmes marins seront touchés à mesure que les espèces migreront vers le nord en réaction au réchauffement de l'eau.** Les espèces australes étendront leur aire de répartition vers le nord et la Colombie-Britannique à mesure que les océans se réchaufferont, alors que les espèces qui habitent aujourd'hui la région sud de la côte, dont le saumon, migreront elles aussi vers le nord. Dans la partie sud de la province, le réchauffement de la température à la surface de l'océan réduira l'aire habitable des mollusques et crustacés et la modification de l'acidité de l'océan portera atteinte à leur succès de reproduction. L'adaptation du secteur des pêches commerciales exigera la modification des types d'espèces pêchées et le déménagement des activités. Les Premières nations, qui utilisent beaucoup le saumon à des fins culturelles, ont souvent moins d'options d'adaptation aux changements dans la répartition et l'abondance des espèces de poissons.
- **La modification des schémas de précipitations aura une incidence sur la disponibilité de l'eau en été et sur le moment de la migration anadrome du saumon dans certains bassins hydrographiques.** On s'attend à ce que, de façon générale, les précipitations hivernales augmentent, avec plus de pluie et moins de neige. En outre, la diminution prévue des précipitations pendant l'été, conjuguée à la diminution du manteau neigeux, entraînera une réduction de la quantité d'eau disponible dans certaines régions à la fin de l'été et à l'automne. Le niveau des cours d'eau diminuera pendant cette période et il est probable que la température de l'eau augmentera en conséquence. Une augmentation de la température des cours d'eau modifiera le moment de la migration du saumon car ces poissons n'entrent dans les rivières que lorsque la température de l'eau descend à environ 15 °C.
- **L'adaptation aux changements climatiques s'accélère en Colombie-Britannique.** Les gouvernements sont passés à l'action en matière d'adaptation aux changements climatiques, surtout en ce qui concerne les enjeux liés à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations côtières. Parmi les principaux projets, on compte une évaluation du coût de l'amélioration du système de digues de Metro Vancouver, une étude de risques liés à l'élévation du niveau de la mer dans le District régional de la capitale, les nouvelles mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation de la Ville de Vancouver, lesquelles tiennent compte de l'élévation du niveau de la mer, la disposition de blocs rocheux sous la ligne de marée basse sur la côte de West Vancouver afin d'atténuer les répercussions des marées de tempête ainsi que la rédaction à l'intention des gouvernements locaux d'un guide d'introduction à l'élévation du niveau de la mer.

1 INTRODUCTION

L'Ouest canadien présente plus de 27 200 km de côtes, toutes situées dans la province de la Colombie-Britannique (figure 1). Les paysages côtiers vont de deltas à faible altitude à des fjords montagneux, et abritent divers écosystèmes, diverses économies et diverses cultures. Les régimes climatiques et météorologiques de la côte pacifique du Canada sont très variables, principalement en raison de la physiographie complexe et variée de la région (section 2; Demarchi, 2011). La plus grande partie du littoral de la Colombie-Britannique est constituée de fjords très accidentés présentant beaucoup de relief, mais les deux plus importantes concentrations de population sont situées dans les basses-terres du fleuve Fraser, dont de grandes parties, notamment le delta du Fraser, sont situées près du niveau de la mer, et dans le sud de l'île de Vancouver, une région à topographie relativement douce. Les principales zones urbaines du sud-ouest de la région continentale et du sud de l'île de Vancouver cèdent la place à des collectivités plus petites et des agglomérations éloignées, dont plusieurs sont situées sur les territoires traditionnels de nombreuses Premières nations.



FIGURE 1 : Région côtière de la Colombie-Britannique.

Même si la pêche et la foresterie s'avèrent des sujets dominants lors de discussions sur l'économie provinciale et si l'énergie est perçue comme ayant un rôle clé à jouer dans l'avenir de la Colombie-Britannique, les industries primaires (agriculture, foresterie, pêche, exploitation minière et énergie) ne constituent que 7,7 % du PIB provincial (BC Stats, 2014). La Colombie-Britannique est également une province en grande partie

urbaine, dont quelque 75 % de la population habite le District régional du Grand Vancouver (Metro Vancouver; BC Stats, 2013a) dans le sud-ouest du continent et le District régional de la capitale dans le sud de l'île de Vancouver. Les industries de la construction et de la fabrication sont d'importance égale aux industries primaires et l'industrie des services les éclipse toutes, constituant 75,5 % du PIB provincial (BC Stats, 2014).

La côte Ouest compte deux noyaux commerciaux principaux, soit le Port Metro Vancouver et l'aéroport international de Vancouver, qui ensemble apportent une contribution de 6,4 % au PIB provincial et génèrent 34 milliards de dollars en entrants économiques totaux annuels (Intervistas Consulting Inc., 2009; Administration de l'aéroport de Vancouver, 2012; Administration portuaire Vancouver-Fraser, 2013). Ces centres de commerce assurent, avec le port de Prince Rupert, le lien entre le Canada et ses partenaires commerciaux en Asie, ce qui fait de la Colombie-Britannique la « porte d'entrée vers le Pacifique ».

Même si l'économie provinciale moderne est variée, les économies de nombreuses collectivités côtières demeurent fortement liées aux écosystèmes—pêches, foresterie et tourisme dans la nature. Il y a plus de 170 villes et villages (y compris les zones non constituées en municipalité) le long de la côte Ouest, et plusieurs d'entre eux sont vulnérables aux changements climatiques qui touchent les ressources et les services écosystémiques desquels les résidents dépendent pour assurer leur subsistance. Certaines de ces collectivités subissent déjà les facteurs de stress liés au déclin de l'industrie forestière et de l'industrie de la pêche. Cette situation a engendré du chômage et une migration économique vers les plus grands centres urbains. Les gens qui demeurent dans les collectivités côtières et qui ont des liens culturels avec certains secteurs particuliers peuvent vivre des niveaux de stress psychologique élevés relatifs à ces changements survenant dans les écosystèmes qui portent atteinte à la viabilité des petites agglomérations isolées et dépendantes des ressources.

Le contraste entre les centres urbains affluents et intégrés à l'échelle mondiale et les collectivités rurales dépendantes des ressources est un élément important qui permet de mieux comprendre comment les gens perçoivent et vivent les impacts des changements climatiques. Les différences socioéconomiques comme l'affluence et la dépendance à l'égard des ressources pour les revenus peuvent contribuer aux différences dans les niveaux de vulnérabilité au climat (p. ex. Adger et Kelly, 1999; Thomas et Twyman, 2005). Toutefois, cette dichotomie ne doit pas être surévaluée. Les collectivités nordiques comme Kitimat et Prince Rupert jouent un rôle de plus en plus important dans le marché d'exportation de la Colombie-Britannique, et beaucoup d'emplois côtiers nordiques sont pleinement intégrés aux économies nationale et mondiale. Par conséquent, même s'il est possible de discerner des différences dans les tendances régionales en matière de vulnérabilité, la diversité économique et sociale des collectivités de la Colombie-Britannique porte à croire qu'une approche communautaire nuancée de l'adaptation s'impose.

Les études liant les changements climatiques prévus aux impacts sur la santé et les activités humaines semblent indiquer que l'élévation du niveau de la mer, les changements dans la nature, le moment et l'intensité des tempêtes et des précipita-

tions de même que la modification de la répartition des espèces marines constituent les plus grandes préoccupations pour les régions côtières de la Colombie-Britannique. Cela se reflète dans la préoccupation centrale des travaux d'adaptation en cours dans la province. On s'efforce de comprendre et de contrer les impacts des changements climatiques en Colombie-Britannique depuis plus de 25 ans (p. ex. Ville de Vancouver, 1990). Toutefois, ce n'est que depuis les 10 dernières années que l'on insiste fortement sur l'adaptation à l'échelle de la province, ce qui est relativement récent. La reconnaissance de la nécessité qui s'impose d'adopter des mesures d'adaptation s'est accélérée depuis.

1.1 PORTÉE ET ORGANISATION DU PRÉSENT CHAPITRE

Le présent chapitre aborde la question suivante : « Que sait-on sur les changements climatiques sur les côtes de la Colombie-Britannique, et que fait-on pour s'y adapter? » Il présente l'état actuel des connaissances en mettant l'accent sur les secteurs où l'on a accompli les plus grands progrès, aussi bien en matière de recherche que de réalisations. Cela comprend les pêches, les impacts et réactions des collectivités, ainsi que les éléments de l'environnement bâti ayant une importance stratégique (p. ex. principaux noyaux d'exportation). Malgré l'importance croissante que prennent le tourisme et les loisirs dans le cadre des économies côtières, moins de renseignements sont disponibles sur les répercussions des changements climatiques sur ces secteurs. Par contre, de nombreuses instances gouvernementales locales situées le long de la côte ont commencé à aborder le défi que présentent les changements climatiques, en s'appuyant sur la documentation qui ne cesse de croître dans le domaine de l'adaptation. Ces nombreux exemples permettent d'évaluer les efforts de planification déployés en vue de l'adoption des mesures d'adaptation envisagées dans cette région.

Même si l'on reconnaît l'existence d'importantes lacunes dans notre niveau actuel de compréhension du sujet, le présent chapitre met l'accent sur ce que nous avons appris au cours de la dernière décennie et, en particulier, au cours des années qui ont suivi l'évaluation antérieure de Walker et Sydneysmith (2008). Ainsi, le chapitre décrit les progrès rapides accomplis en ce qui concerne la climatologie et l'intérêt porté par le gouvernement à l'adaptation.

Le chapitre évalue d'abord l'état actuel des connaissances concernant les changements prévus dans le climat des zones marines et terrestres côtières de la Colombie-Britannique, en direction ouest à partir de la chaîne Côtière. Il débute par un examen des changements observés et prévus dans les conditions atmosphériques, hydrologiques et océanographiques d'ici l'an 2100 (section 2). Il aborde ensuite la manière dont on prévoit que ces changements altéreront les systèmes humains et écologiques le long de la côte (sections 3 et 4). La documentation scientifique et technique ne couvre pas tous les enjeux et tous les secteurs de manière identique dans la région de la côte Ouest. Par exemple, l'impact potentiel de l'élévation du niveau de la mer dans Metro Vancouver a fait l'objet de nombreuses études, alors que ce même impact dans les collectivités du centre et du nord de la côte a reçu moins d'attention. Compte tenu de cette asymétrie et afin

d'améliorer la pertinence de l'information disponible à l'échelle de toute la population côtière, le présent chapitre met fortement l'accent sur le processus d'adaptation.

Le chapitre se termine par une discussion sur l'état de l'adaptation le long de la côte de la Colombie-Britannique. Des études de cas couvrant un éventail de municipalités et de secteurs côtiers sont présentées en vue d'illustrer les diverses approches de la planification de l'adaptation qui sont adoptées dans toute la région.

2 ÉVOLUTION DU CLIMAT RÉGIONAL

Le climat de la côte de la Colombie-Britannique est caractérisé par des étés relativement secs et des hivers humides, la plupart des tempêtes survenant en hiver (Mesquita et al., 2010). Les températures sont douces et varient peu, comparativement au reste du Canada. Les températures quotidiennes moyennes se maintiennent au-dessus du point de congélation toute l'année (sauf en altitude), et l'écart de différence entre les températures moyennes estivales et hivernales dépasse rarement 15 °C.

Les précipitations, par contre, font preuve d'une grande variabilité régionale et saisonnière. Les précipitations annuelles moyennes dans la région varient de moins de 900 mm dans la partie est de l'île de Vancouver, dans les îles Gulf et dans l'est de l'archipel Haida Gwaii, à plus de 3 500 mm dans l'ouest de l'île de Vancouver, avec des quantités encore plus importantes en altitude (p. ex. plus de 5 000 mm dans la chaîne Côtière de la région continentale). Les systèmes océaniques de basse pression dominent en hiver, la poussée d'un air tiède et humide vers le centre et le sud de la côte entraînant de fortes précipitations (Demarchi, 2011). En été, les systèmes de haute pression tendent à dominer dans la région, ce qui crée des conditions de sécheresse le long de la majeure partie de la côte (Demarchi, 2011).

Un aspect important du climat régional et exclusif à la région de la côte Ouest au Canada est le phénomène des « rivières atmosphériques » (une dépression en provenance d'Hawaï couramment appelée « Pineapple Express »). Les rivières atmosphériques sont définies comme étant de « longs et étroits courants atmosphériques à haute concentration de vapeur d'eau déplaçant l'humidité des régions tropicales vers les pôles en passant par les latitudes moyennes » (PCIC, 2013a, p. 2). Les rivières atmosphériques sont responsables des pluies les plus extrêmes dans la région de la côte Ouest (p. ex. Ralph et Dettinger, 2012). Les pluies intenses associées aux rivières atmosphériques peuvent provoquer des inondations et des glissements de terrain et peuvent causer des dommages coûteux dans les collectivités côtières (Lancaster et al., 2012; PCIC, 2013a).

Le climat de la côte de la Colombie-Britannique fait preuve d'une importante variabilité à l'échelle des années et des décennies, variabilité surtout attribuable à l'influence importante de deux cycles climatiques : l'« El Niño/La Niña Southern Oscillation » (oscillation australe El Niño/La Niña, ou ENSO) et la « Pacific Decadal Oscillation » (oscillation décennale du Pacifique, ou ODP; voir également le chapitre 2; Moore et al., 2010). L'ENSO présente une cyclicité d'environ 3 à 5 ans. Au cours des années chaudes d'El Niño, l'air chauffé par des températures supérieures à la moyenne de la surface de la mer se déplace à partir des

régions tropicales vers le Nord et l'Amérique du Nord, où il s'installe pendant plusieurs mois. Il engendre des hivers plus chauds accompagnés de moins de précipitations dans la région de la côte Ouest. Au cours de la phase froide, La Niña apporte de l'air refroidi par des températures inférieures à la moyenne de la surface de la mer des tropiques vers le Nord. Cette phase dure elle aussi plusieurs mois et provoque un refroidissement des hivers et des eaux au large de la côte de la Colombie-Britannique (p. ex. Shabbar *et al.*, 1997; Fleming et Whitfield, 2010).

L'autre cycle climatique, l'ODP, est également un cycle chaud-froid. Toutefois, à la différence de l'ENSO, chaque cycle de l'ODP se mesure en décennies plutôt qu'en mois et est caractérisé par une période de récurrence de 40 à 60 ans. Les températures à la surface du Pacifique Nord, qui alternent entre des périodes de chaleur relative et de fraîcheur relative, alimentent ce cycle. Ces changements cycliques dans la température de l'océan ont une incidence sur la température de l'air en Colombie-Britannique parce que les vents dominants, sous l'influence du courant-jet, se déplacent au-dessus des eaux du Pacifique Nord avant de souffler sur la côte Ouest.

Il est essentiel de réaliser l'importance de l'influence que l'ENSO et l'ODP exercent sur le climat de la Colombie-Britannique pour comprendre les changements climatiques dans la région. Par exemple, les températures moyennes sur la côte de la Colombie-Britannique augmentent lentement, au rythme d'une fraction de degré par décennie (PCIC, 2013b, c). En même temps, l'ENSO et l'ODP provoquent des fluctuations relativement fortes, à savoir de plusieurs degrés, qui perdurent des mois et des années et, du même fait, nous rendent la tâche de discerner un signe de changement climatique plus difficile (voir le chapitre 2).

2.1 TEMPÉRATURE

Les températures annuelles moyennes dans l'ensemble de la région de la côte Ouest ont augmenté de 1,3 °C au cours du dernier siècle (0,12 à 0,13 °C par décennie; PCIC, 2013b, c). Cette augmentation est légèrement supérieure à l'augmentation de la température de surface moyenne à l'échelle mondiale au cours de la même période (p. ex. GIEC, 2013), mais inférieure à la moyenne pour l'ensemble du Canada (Bush *et al.*, 2014; voir également le chapitre 2). Depuis 1951, le rythme du réchauffement sur la côte Ouest a augmenté jusqu'à environ 0,2 °C par décennie (figure 2). Le réchauffement se manifeste à toutes les saisons; toutefois, depuis 1951, l'augmentation la plus rapide de la température s'est produite pendant l'été (0,22 à 0,26 °C par décennie; PCIC, 2013b, c).

Les prévisions de changements futurs dans la température, les taux de précipitation et les autres variables climatiques sont disponibles en ligne aux échelles provinciales et régionales sur le site du Pacific Climate Impacts Consortium (www.pacificclimate.org; voir également www.Plan2Adapt.ca). Les prévisions de température semblent indiquer que le réchauffement se poursuivra au cours de toutes les saisons, et les plus grandes augmentations de température d'une année à l'autre continueront de se produire pendant l'été. L'étude de deux rapports spéciaux sur les scénarios d'émissions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2000) laisse prévoir un réchauffement annuel d'environ 1,4 °C jusqu'aux années 2050 et de 2,3 °C par après

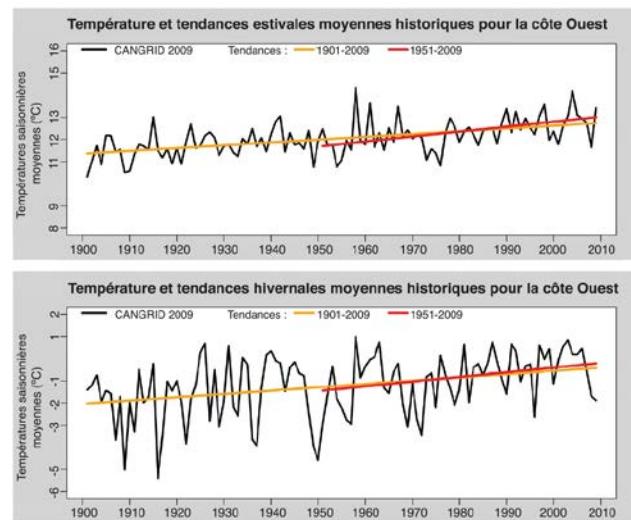


FIGURE 2 : Tendances historiques des températures (1901 à 2009) pour la région de la côte Ouest de la Colombie-Britannique (PCIC, 2013b, c). Toutes les tendances à l'exception de l'hiver (1951 à 2009) sont statistiquement significatives au niveau de confiance de 95 %. Les tendances pour le sud de la côte, qui comprend Vancouver, sont très semblables (PCIC, 2013b).

jusqu'à 2080 (par rapport à la moyenne de 1961 à 1990). Ces augmentations de température sont moindres que celles prévues pour l'ensemble du Canada.

2.2 PRÉCIPITATIONS

Les tendances dans les précipitations saisonnières moyennes sont restées stables depuis un siècle sur la côte Ouest. Même si les données historiques indiquent que les précipitations moyennes ont augmenté pendant cette période, peu de ces tendances sont statistiquement significatives (PCIC, 2013b, c). La grande variabilité naturelle des précipitations dans cette région est sans doute à l'origine de ces changements. Toutefois, l'influence des changements climatiques sur les précipitations pourraient clairement se manifester d'ici les années 2080 (PCIC, 2013b).

Les changements climatiques auront sans doute peu d'effet sur la quantité moyenne de précipitations que reçoit la région de la côte Ouest au cours d'une saison ou d'une année donnée. Toutefois, ils peuvent avoir une incidence sur le moment auquel auront lieu les précipitations et en modifieront probablement la forme (pluie ou neige) et l'intensité (la quantité reçue à la fois; Whitfield et Taylor, 1998). D'ici les années 2080, les précipitations moyennes pourraient augmenter d'environ 10 % par rapport au niveau de référence de 1961 à 1990, pour toutes les saisons sauf l'été, au cours duquel on prévoit une diminution de 10 % (PCIC, 2013b, c). Ce changement serait modeste par comparaison avec la variabilité historique, ce qui signifie que les niveaux de précipitations moyens devraient rester conformes à ce que la région a connu au cours du dernier siècle.

Les températures plus élevées en hiver et au printemps réduiront le pourcentage de précipitations totales tombant sous forme de neige. D'ici les années 2050, on prévoit que les chutes de neige hivernales diminueront d'environ 25 % et que les chutes de neige printanières diminueront d'environ 50 % (PCIC, 2013b, c). Au cours des années 2080, la réduction prévue des chutes de neige

printanières pourrait atteindre 72 % (par comparaison avec le niveau de référence de 1961 à 1990). La quantité de neige réduite et la quantité de pluie accrue pourraient entraîner non seulement un ruissellement plus rapide mais pourraient également contribuer aux problèmes de rareté de l'eau en raison du fait que moins d'eau serait stockée sous forme de neige et de glace (section 2.3).

Une nouvelle préoccupation pour la côte de la Colombie-Britannique s'avère être l'augmentation possible de la fréquence ou de l'intensité des pluies extrêmes. La côte Ouest reçoit entre 20 et 25 % de ses précipitations annuelles lors de pluies abondantes provoquées par les rivières atmosphériques. Un scénario à émissions élevées (Cannon *et al.*, travaux en cours) laisse prévoir que la fréquence des événements liés aux rivières atmosphériques augmentera pour la côte de la Colombie-Britannique au cours de la période s'étendant de 2041 à 2070, ce qui augmenterait du même fait les risques d'inondation, de glissement de terrain et de charge sédimentaire dans les réservoirs d'eau potable.

Depuis 2001, la Colombie-Britannique connaît au moins une inondation par an provoquée par des conditions météorologiques ou des précipitations extrêmes, y compris une tempête en 2009 ayant causé 9 millions de dollars de dommages et une autre en 2012 ayant coûté près de 16 millions de dollars (PCIC, 2013a). Des travaux sont en cours dans le but de mieux comprendre, prévoir et gérer les répercussions associées aux rivières atmosphériques grâce à l'amélioration de la collecte des données, des prévisions et de la participation du public au signalement des pluies extrêmes, des dommages qu'elles provoquent et de la mise en œuvre réussie de stratégies d'adaptation (PCIC, 2013a).

2.3 HYDROLOGIE

Les changements prévus à la température et aux schémas de précipitations entraîneront des changements dans l'écoulement fluvial des bassins hydrographiques côtiers. La variabilité naturelle du climat, associée à l'ENSO et à l'ODP, jouera également un rôle. En conséquence, les tendances futures dans la répartition et la circulation de l'eau dans les bassins hydrographiques de la Colombie-Britannique seront influencées par une combinaison de changements climatiques à long terme et de variabilité climatique à court et à moyen terme.

La répartition et la circulation de l'eau dans les bassins hydrographiques côtiers de la Colombie-Britannique peuvent être classées en fonction de trois régimes hydrologiques : un premier dominé par les pluies, un second dominé par la fonte des neiges et un dernier de type hybride (dominé à la fois par les pluies et la fonte des neiges; Wade *et al.*, 2001; Fleming *et al.*, 2007). Les changements climatiques, comme l'augmentation de la température et des précipitations sous forme de pluie (plutôt que de neige), menacent de modifier les régimes actuels d'accumulation et d'écoulement de l'eau. On ne connaît pas précisément l'effet que les changements climatiques auront sur les bassins hydrographiques dominés par les pluies, qui font déjà état d'un taux de variabilité considérable. Par exemple, pendant la période de 1976 à 2005, l'écoulement fluvial quotidien moyen et maximal et l'écoulement fluvial annuel moyen ont diminué dans le sud de la côte, où se manifestent des régimes dominés par les pluies, mais ils

ont augmenté dans le nord de la côte (Rodenhuis *et al.*, 2009).

On observe depuis plusieurs décennies une tendance régionale vers une réduction du manteau neigeux dans l'ensemble de la Colombie-Britannique et de l'ouest de l'Amérique du Nord (Mote, 2003; Mote *et al.*, 2005; Rodenhuis *et al.*, 2009; Stewart, 2009). La fonte printanière plus hâtive et une proportion de plus en plus faible des précipitations hivernales se manifestant sous forme de neige ont contribué à ce déclin (Stewart *et al.*, 2005; Knowles *et al.*, 2006; Stewart, 2009). Il est important de maintenir le manteau neigeux en raison de son incidence sur la quantité d'eau accumulée dont il sera possible de disposer pendant l'été et l'automne.

Les glaciers jouent un rôle semblable dans le cas du stockage de l'eau et sont généralement en recul depuis le milieu du XVIII^e siècle en raison de l'augmentation des températures. Les études sur les glaciers dans l'ensemble de la chaîne Côtière de la Colombie-Britannique indiquent que le rythme récent de fonte des glaciers est près du double de celui des décennies précédentes (Schiefer *et al.*, 2007; Bolch *et al.*, 2010). Dans certains bassins hydrographiques, cette réduction de la couche de glace est associée à une réduction de l'écoulement estival (Moore et Demuth, 2001; Cunderlik et Burn, 2002; Stahl et Moore, 2006). Cela correspond à la tendance observée dans l'ensemble de l'ouest de l'Amérique du Nord en matière de modification du moment et de la saisonnalité de l'écoulement des rivières dans des régimes dominés par la fonte des neiges (Stewart *et al.*, 2005). Les glaciers continueront de reculer à mesure que le climat se réchauffe. Par exemple, on s'attend à ce que le glacier Bridge qui alimente la rivière Bridge, laquelle fournit entre 6 et 8 % de la capacité de production hydroélectrique de la Colombie-Britannique, perde environ la moitié de sa superficie actuelle d'ici la fin du siècle (Stahl *et al.*, 2008).

Les tendances à long terme semblent indiquer que la côte de la Colombie-Britannique connaîtra une diminution de l'écoulement estival dans les bassins hydrographiques dominés par les glaciers et la fonte des neiges. Toutefois, les réactions historiques de l'écoulement fluvial portent à croire que la disponibilité de l'eau en été continuera de présenter une variabilité régionale considérable d'une année à l'autre (Fleming *et al.*, 2007). Par exemple, même si le débit estival a augmenté dans les bassins érodés par la glaciation des rivières Stikine et Iskut (Moore *et al.*, 2009), les rivières de l'ensemble du bassin du Fraser, y compris son cours principal, ont connu une grande variabilité interannuelle de l'écoulement fluvial au cours des dernières décennies, en particulier au printemps et en été (Déry *et al.*, 2012).

La rareté de l'eau en été constitue déjà une préoccupation pour certaines collectivités côtières, comme celles du District régional de Cowichan Valley et du District régional de Sunshine Coast, et les réductions saisonnières dans l'approvisionnement en eau potable (p. ex. sources de surface et eaux souterraines) pourraient devenir préoccupantes pour d'autres collectivités à mesure que les changements climatiques prennent de l'ampleur. On prévoit une augmentation de la rareté périodique de l'eau en été dans les régimes dominés par la fonte des neiges et, en particulier, dans les régimes hybrides dominés à la fois par les pluies et la fonte des neiges (étude de cas 1).

ÉTUDE DE CAS 1

CHANGEMENTS HYDROLOGIQUES PRÉVUS DANS LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES DE LA RIVIÈRE CAMPBELL ET DU FLEUVE FRASER

(résumé selon Schnorbus et al. [2014] et Shrestha et al. [2012]; ces références sont à consulter pour une discussion plus détaillée sur la méthodologie et les résultats)

Les bassins hydrographiques de la rivière Campbell et du fleuve Fraser se jettent dans le détroit de Georgia à partir, respectivement, du centre de l'île de Vancouver et des basses-terres continentales (figure 3). Ensemble, ces bassins assurent la survie d'un éventail d'écosystèmes, y compris d'importantes frayères de saumon.

Le bassin hydrographique de la rivière Campbell est un bassin montagneux dans le centre de l'île de Vancouver qui s'étend sur 1 755 km² et s'élève jusqu'à 2 200 m au-dessus du niveau de la mer. Le bassin est soumis au régime d'écoulement hybride dominé à la fois par la fonte des neiges et les pluies caractéristique de nombreux bassins hydrographiques côtiers de la Colombie-Britannique, dont les pointes d'intensité du ruissellement atteignent leur maximum à l'automne et au printemps. Le système du fleuve Fraser est le plus important bassin hydrographique de la Colombie-Britannique, couvrant une superficie de 230 000 km². Le bassin s'élève jusqu'à environ 4000 m au-dessus du niveau de la mer et reçoit en moyenne entre 200 à 5000 mm de précipitations annuelles, les régions à plus haute altitude recevant la plus grande part de ces précipitations. Même si une grande partie du bassin du fleuve Fraser se trouve dans les zones à l'intérieur des terres de la Colombie-Britannique, il alimente néanmoins le plus important débit d'eau douce vers la côte de la province (Morrison et al., 2012). La majeure partie du bassin du fleuve Fraser, y compris son cours principal, est soumis à un régime dominé par la fonte des neiges et son écoulement annuel est dominé par la crue nivale printanière.

On a utilisé la modélisation hydrologique pour simuler un régime hydrologique de référence sur 30 ans (1961 à 1990; ou les années 1970) et un régime hydrologique futur (2041 à 2070; ou les années 2050) dans ces deux bassins hydrographiques. Un ensemble de huit modèles climatiques mondiaux (MCM) et trois scénarios d'émissions ont été utilisés pour prévoir les changements au niveau du climat régional. La réduction d'échelle statistique de données de sortie du MCM afin d'assurer sa compatibilité avec la haute résolution spatiale du modèle hydrologique a été effectuée par désagrégation spatiale corrigée du biais. Les données pour le fleuve Fraser à la hauteur du pont Mission et pour la rivière Campbell à la hauteur du barrage Strathcona ont été naturalisées afin d'éliminer l'influence exercée par la régularisation du débit.

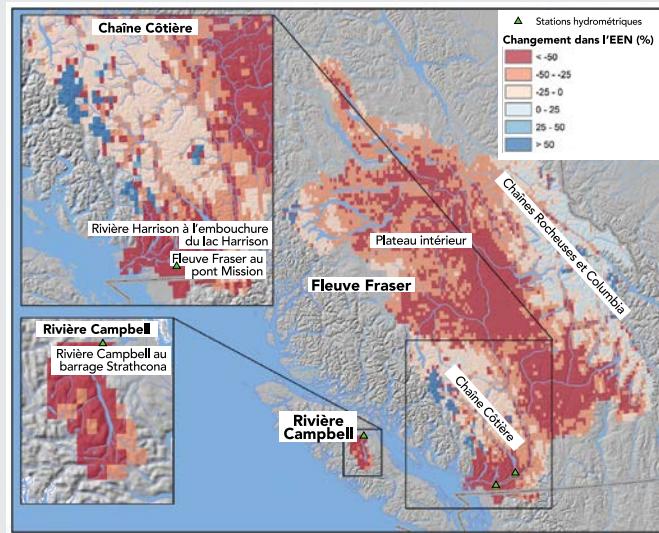


FIGURE 3 : Changements prévus pour le milieu du siècle (2041 à 2070) dans l'équivalent en eau de neige (EEN) au 1er avril pour les bassins hydrographiques de la rivière Campbell et du fleuve Fraser (Schnorbus et al., 2014). Les valeurs sont fondées sur le changement médian calculé pour la période s'étendant de 1961 à 1990 en fonction du scénario A1B (qui présume un forçage radiatif anthropique futur moyen du climat).

On prévoit d'importants changements dans l'accumulation de neige hivernale au cours des années 2050 dans le cas de ces deux bassins (figure 3). On s'attend à une diminution de l'accumulation de neige dans l'ensemble du bassin de la rivière Campbell. On prévoit une diminution du manteau neigeux printanier dans le cas du bassin du fleuve Fraser, à l'exception d'une augmentation de la quantité de neige prévue pour certaines parties des chaînes Rocheuses, Columbia et Côtière.

En plus des températures plus chaudes et des précipitations accrues pour toutes les saisons à l'exception de l'été, ces changements dans le manteau neigeux entraîneront des changements au niveau de l'écoulement fluvial. Selon la plupart des scénarios, on prévoit une augmentation du débit annuel total dans le bassin du fleuve Fraser. Les débits hivernaux et printaniers devraient augmenter, alors que les débits estivaux et automnaux pourraient aussi bien augmenter que diminuer (figure 4).

D'ici les années 2050, on prévoit que la fonte hâtive des neiges devancera le moment du débit de pointe annuel du fleuve Fraser. Par exemple, le débit de pointe annuel pourrait avoir lieu entre 14 et 18 jours plus tôt au pont Mission et entre 29 et 35 jours plus tôt dans le sous-bassin de la rivière Harrison. Dans le bassin hydrographique de la rivière Campbell, les changements prévus dans l'écoulement fluvial annuel moyen sont négligeables, mais on s'attend à une importante variation saisonnière. D'ici le milieu du XXI^e siècle, on prévoit que le bassin hydrographique de la rivière Campbell passera d'un régime hybride à un régime dominé par les pluies, accompagné d'augmentations dans l'écoulement fluvial mensuel entre octobre et avril et des diminutions entre mai et septembre (figure 4).

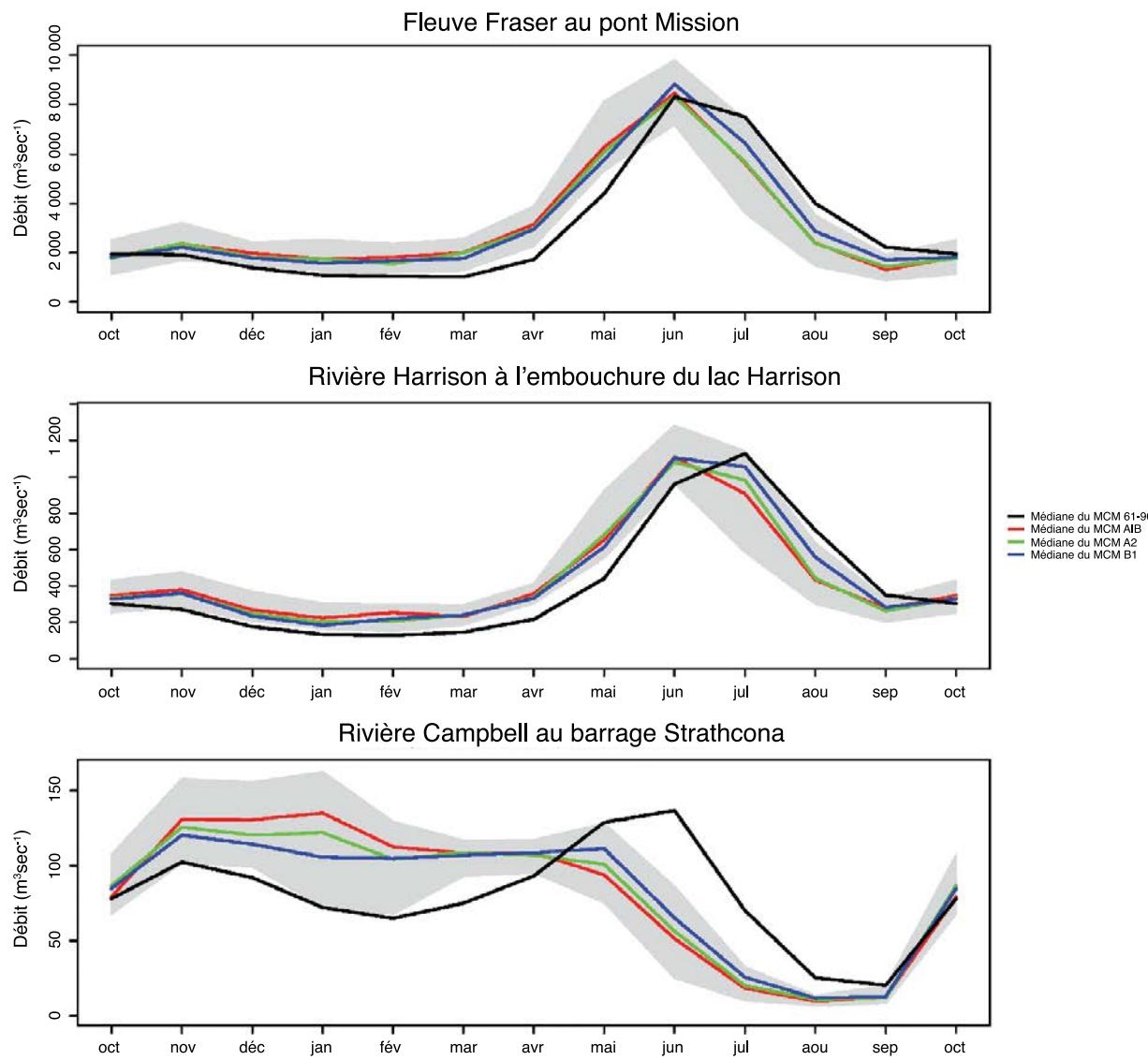


FIGURE 4 : Changements prévus de l'écoulement fluvial mensuel pour le fleuve Fraser au pont Mission, pour la rivière Harrison à l'embouchure du lac Harrison et pour la rivière Campbell au barrage Strathcona. Il est à remarquer que l'écoulement fluvial de la rivière Campbell représente les conditions naturelles (c.-à-d. sans les effets de la régularisation du débit). Les résultats démontrent que l'écoulement fluvial médian change non seulement dans le cas de chaque scénario (A1B, A2 et B1), mais également dans la gamme de prévisions (ombrage gris) établie pour 23 prévisions individuelles.

2.4 NIVEAU DE LA MER

Le niveau d'eau des océans varie aux échelles quotidienne à décennale en fonction d'une variété d'effets atmosphériques et océanographiques, y compris les marées de tempête provoquées par les basses pressions atmosphériques et les cycles de variabilité climatique comme l'ENSO et l'ODP (p. ex. Crawford *et al.*, 1999; Barrie et Conway, 2002; Abeysirigunawardena et Walker, 2008, section 2; Thomson *et al.*, 2008). Au cours d'un cycle ENSO ou ODP, les changements dans la densité de l'eau des océans induits par les changements dans la température de l'eau exercent une influence sur l'élévation de la surface de l'océan de l'ordre de dizaines de centimètres, alors que l'ampleur d'une marée de tempête peut atteindre 1 m (Thomson *et al.*, 2008). Les grosses vagues produites par les vents violents peuvent agraver l'érosion et les inondations côtières lors d'une marée de tempête. À court terme (en années), c'est cette variabilité du niveau de la mer et

des vagues qui provoquera les inondations côtières. La lente élévation du niveau moyen de la mer au fil des décennies, telle que décrite plus bas, accroîtra considérablement la fréquence des phénomènes hydrologiques extrêmes (voir le chapitre 2).

Sur une plus longue période, les changements dans le niveau relatif de la mer dans l'ensemble de la région de la côte Ouest font preuve d'une importante variabilité. Par exemple, au cours des 50 dernières années le niveau de la mer s'est élevé de 3,1 cm à Victoria et de 2,0 cm à Vancouver, mais a diminué de 8,4 cm à Tofino (Bornhold et Thomson, 2013). Les trois collectivités se situent dans un rayon d'environ 220 km. Un facteur dominant ayant une incidence sur le changement du niveau relatif de la mer en Colombie-Britannique, comme ailleurs au Canada, est le déplacement vertical des terres, mais d'autres facteurs jouent également un rôle, tel que mentionné au chapitre 2. Les déplacements verticaux des terres en Colombie-Britannique découlent d'une combinaison d'activité tectonique due à l'interaction des plaques océaniques

Juan de Fuca et pacifique avec la plaque nord-américaine, du soulèvement des terres en réaction au retrait du poids causé par la fonte des glaciers de la dernière ère glaciaire (ajustement isostatique glaciaire; voir le chapitre 2) et des changements contemporains à la masse de glace dans la chaîne Côtière et le golfe de l'Alaska. Dans le delta du Fraser, le compactage des sédiments contribue à l'affaissement du terrain (Mazzotti *et al.*, 2009). Les observations du système mondial de localisation (GPS) révèlent que les terres se soulèvent plus rapidement sur la côte ouest de l'île de Vancouver qu'à Victoria et Vancouver (Mazzotti *et al.*, 2008), phénomène qui permet d'expliquer pourquoi on a observé une diminution du niveau de la mer à Tofino au cours des 50 dernières années, mais une élévation du niveau de la mer à Victoria et Vancouver.

On s'attend à ce que le niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale augmente de 44 à 74 cm (valeurs médianes par rapport à la période de 1986 à 2005) d'ici l'an 2100 (GIEC, 2013) et on ne peut pas écarter la possibilité d'augmentations plus importantes (chapitre 2). Si l'inlandsis de l'Antarctique occidental connaissait un écoulement accéléré au cours de ce siècle en raison de l'instabilité de sa portion à base marine, scénario qui, quoique possible, est peu probable (GIEC, 2013), le niveau mondial de la mer pourrait augmenter par quelques dizaines de centimètres supplémentaires et dépasser un mètre.

Le changement prévu du niveau relatif de la mer dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique (figure 5) démontre une variabilité régionale semblable aux schémas historiques de changement du niveau de la mer, attribuable une fois encore principalement aux différences se manifestant dans le déplacement vertical des terres. Parmi les autres effets qui contribuent également à la variabilité régionale, on note la réduction de l'attraction gravitationnelle exercée par les glaciers qui fondent sur les eaux océaniques avoisinantes de même que les changements dans les courants océaniques qui peuvent altérer la topographie de la surface de la mer. Le changement médian du niveau de la mer en l'an 2100 selon le scénario à émissions élevées (RCP8.5) varie entre 50 et 70 cm dans le sud de l'île de Vancouver, dans la région entourant la Ville de Vancouver et sur la côte nord de la Colombie-Britannique. Le reste de l'île de Vancouver et la côte continentale adjacente devraient connaître une élévation plus modeste du niveau relatif de la mer, en raison du soulèvement plus important des terres dans cette région. Malgré cette variabilité régionale, les prévisions exhibent une tendance générale vers l'élévation du niveau relatif de la mer sur la côte Ouest du Canada, même si les incertitudes qui persistent soient suffisamment importantes pour laisser entrevoir la possibilité d'une diminution potentielle du niveau de la mer selon certains scénarios dans les collectivités où le soulèvement des terres est relativement considérable.

La figure 6 présente les prévisions du niveau de la mer pour l'ensemble du XXI^e siècle et pour quatre collectivités. Les prévisions du niveau relatif de la mer sont plus modestes dans les endroits présentant un soulèvement plus important de la croûte terrestre. On indique également les provisions relatives à l'élévation du niveau de la mer établie par la province de la Colombie-Britannique afin de définir les mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation (Ausenco Sandwell, 2011a, b), tels qu'établis à partir d'études antérieures (Mazzotti *et al.*, 2008; Thomson *et al.*,

2008). La provision, établie à 50 cm pour 2050 et à 100 cm pour 2100 comporte aussi un facteur de correction déterminé en fonction du déplacement vertical local des terres. Les provisions de la Colombie-Britannique sont supérieures aux prévisions des scénarios dits « scénarios RCP » (soit Representative Concentration Pathway ou profil représentatif d'évolution de concentration), mais inférieures au scénario le plus élevé conjugué à une contribution accrue à l'élévation du niveau de la mer provenant de l'Antarctique occidental. Par conséquent, elles tiennent pleinement compte de l'éventail des prévisions de changements probables (définis dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC comme présentant une probabilité de 66 à 100 %) du niveau de la mer de même que d'une partie d'une élévation supplémentaire approximative, mais possible, du niveau de la mer.

Les changements au niveau de la mer poseront des difficultés pour plusieurs des quelque 170 collectivités côtières de la Colombie-Britannique. Par exemple, environ 245 000 personnes de Metro Vancouver habitent dans des plaines inondables menacées par l'élévation du niveau de la mer. D'importantes infrastructures régionales et nationales sont également menacées. Le port Metro Vancouver et l'aéroport international de Vancouver (YVR), tous deux à moins de quelques mètres au-dessus du niveau de la mer, créent directement quelque 71 000 emplois en Colombie-Britannique (environ 221 000 emplois au total) et contribuent plus de 34 milliards de dollars en entrants économiques totaux (Intervistas Consulting Inc., 2009; Administration de l'aéroport de Vancouver, 2010). L'élévation du niveau de la mer pourrait présenter des difficultés pour les grands sites industriels proposés le long de la côte nord de la province, notamment dans les régions de Kitimat, Prince Rupert et Stewart, qui sont des noyaux potentiels d'exportation d'énergie.

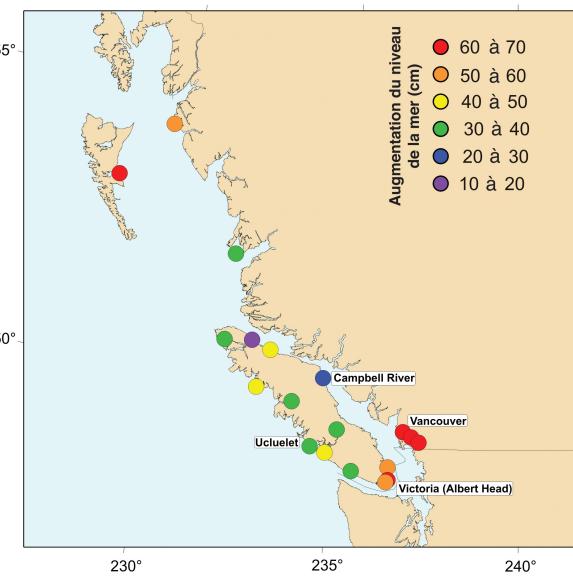


FIGURE 5 : Prévisions de l'élévation du niveau relatif de la mer pour l'an 2100 en fonction de la valeur médiane du scénario à émissions élevées (RCP8.5; selon James *et al.*, 2014, 2015). Voir le chapitre 2 pour des renseignements supplémentaires sur les prévisions liées au niveau de la mer. Les prévisions relatives au niveau de la mer pour l'ensemble du XXI^e siècle sont présentées à la figure 6 pour les quatre collectivités identifiées, et les changements prévus pour tous les sites sont présentés à l'annexe A.

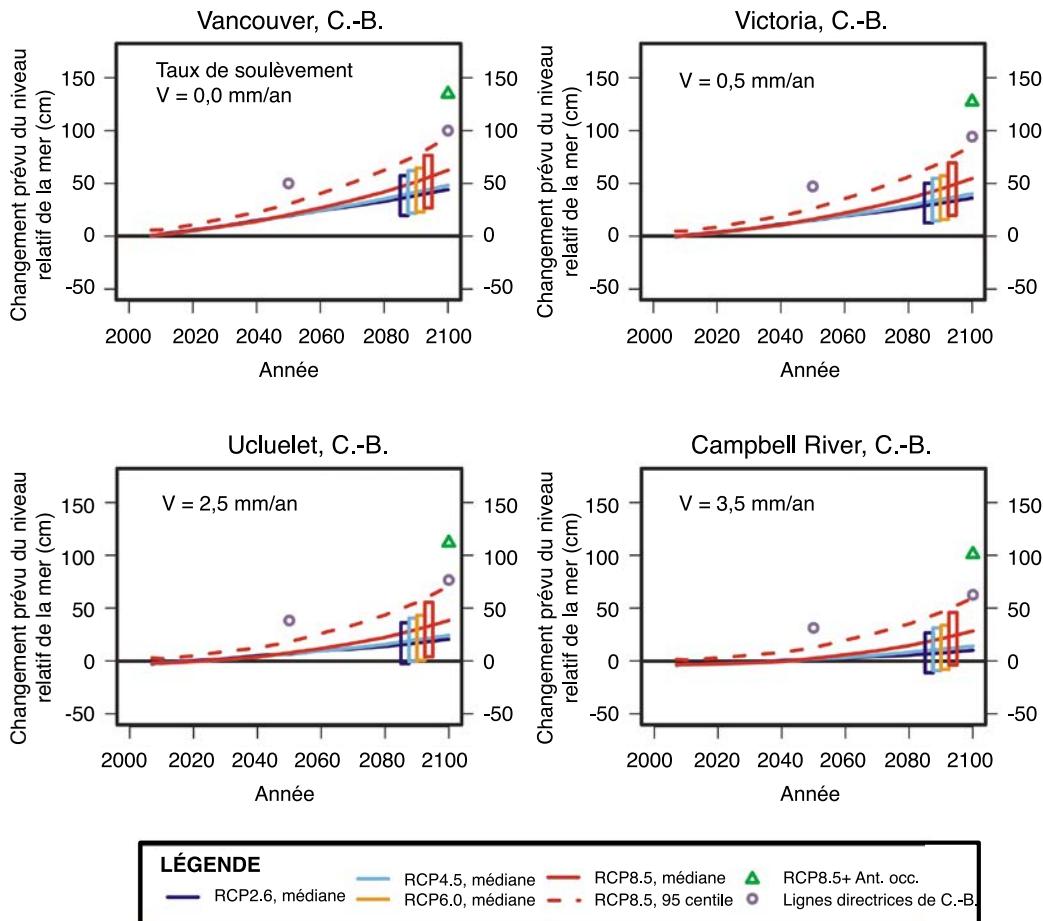


FIGURE 6 : Changement prévu du niveau relatif de la mer pendant le XXI^e siècle pour des collectivités choisies en Colombie-Britannique (selon James et al., 2014, 2015). Le RCP2.6 est le scénario à émissions faibles, le RCP6.0 est un scénario à émissions modérées et le RCP8.5 est le scénario à émissions élevées. La valeur prévue pour 2100 est également indiquée pour le scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique, 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 au cours de la période s'étendant de 2081 à 2100 et comprennent également le scénario RCP6.0, alors que le pointillé rouge indique la valeur du 95^e centile propre au scénario à émissions élevées. Le déplacement vertical des terres est indiqué à 0,5 mm/an près dans chaque tableau. Les provisions du gouvernement de la Colombie-Britannique en vue de l'élévation du niveau de la mer (ligne directrice de la Colombie-Britannique) sont également indiquées (Ausenco Sandwell, 2011b, c). Voir le chapitre 2 pour obtenir plus d'explications sur les scénarios.

Plusieurs collectivités, entreprises et gouvernements locaux, de même que la province de la Colombie-Britannique, reconnaissent la nécessité de mieux comprendre le phénomène de l'élévation du niveau de la mer et de mieux s'y préparer. On peut trouver à la section 4 du présent chapitre une discussion plus détaillée des risques que cela pose pour les collectivités côtières de même qu'une collection d'études de cas faisant la lumière sur les mesures d'adaptation déjà en cours.

3 CHANGEMENTS À LA STRUCTURE ET À LA FONCTION DES ÉCOSYSTÈMES

Les changements climatiques auront une incidence sur les écosystèmes côtiers de la Colombie-Britannique. Ensemble, l'augmentation de la température de l'eau et les changements aux taux d'acidité et de salinité, et à la teneur en oxygène dissous de l'océan modifieront la structure et la fonction des écosystèmes. Les

phases chaudes et froides des cycles ENSO et ODP (section 2) produisent des changements à court terme dans la température de l'eau au large de la côte de la Colombie-Britannique et donnent un aperçu de la façon dont une eau plus chaude peut porter atteinte aux écosystèmes côtiers.

Les changements climatiques peuvent avoir des effets positifs aussi bien que négatifs sur la biodiversité marine côtière de la Colombie-Britannique. Par exemple, une augmentation prévue des remontées d'eau du courant de Californie (Snyder et al., 2003; Black et al., 2014) pourrait provoquer une amélioration au niveau de la disponibilité des nutriments et entraîner un taux de reproduction plus élevé pour certaines formes de vie marine. Toutefois, la diminution de la teneur en oxygène et l'augmentation du taux d'acidité (Kleypas et al., 2005; Chan et al., 2008; Ianson, 2008; Widdicombe et Spicer, 2008; Miller et al., 2009) auraient un impact négatif sur d'autres espèces, en particulier les mollusques et les crustacés. L'augmentation de la température de l'eau dans les écosystèmes dulçaquicoles (rivières) aussi bien que

marins pourrait s'avérer être le changement le plus important. Cela pourrait nuire au saumon en réduisant à la fois son taux de réussite de reproduction et les chances de survie des alevins de saumon. L'augmentation de la température de l'eau pourrait également provoquer un déplacement vers le nord de la zone de transition écologique nord-sud et, en conséquence, l'introduction de nouvelles espèces dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique.

3.1 CONDITIONS MARITIMES : CIRCULATION, ACIDIFICATION ET SALINITÉ

En comparaison avec d'autres milieux côtiers du Canada, la Colombie-Britannique semble particulièrement vulnérable à l'acidification de l'océan à long terme en raison du fait que le Pacifique Nord est déjà très acide. Si l'eau était légèrement plus acide, elle serait qualifiée de « corrosive » parce que le carbonate de calcium, élément de base des coquilles, commencerait à se dissoudre (Feely *et al.*, 2004). Il est actuellement impossible de formuler des prévisions à long terme du risque posé par l'acidification de l'océan pour la faune marine (Ianson, 2013). Cela est attribuable en partie au fait que les processus contribuant à l'acidification de l'océan peuvent varier d'une région à l'autre et être difficiles à prévoir dans de grandes régions comme le détroit de Georgia. Il y a également des limites au niveau des données disponibles relatives à la circulation maritime très variable (Chavez *et al.*, 2007; Nemcek *et al.*, 2008).

Les changements climatiques pourraient altérer le taux d'acidité de l'océan en provoquant des changements à la température, aux précipitations et à l'écoulement fluvial. Les changements climatiques peuvent modifier la circulation sublittorale en causant un changement au niveau de la quantité d'eau douce qui se déverse dans l'océan. À mesure que la quantité de précipitations tombant sous forme de pluie (plutôt que de neige) augmente et que les glaciers et le manteau neigeux continuent de fondre, le débit d'eau douce des rivières côtières augmentera, en particulier au printemps et à l'automne (section 2.3). Les réductions à long terme du manteau neigeux hivernal ont déjà modifié l'hydrologie du fleuve Fraser (Morrison *et al.*, 2002) en entraînant une réduction de la quantité d'eau susceptible d'être libérée pendant l'été, ce qui par conséquent, entraîne à son tour un changement des schémas annuels de salinité sublittorale dans le détroit de Georgia. La diminution de la salinité des eaux de surface liée à l'augmentation des précipitations régionales (BC Ministry of Environment, 2007; Rodenhuys *et al.*, 2007; Walker et Sydneysmith, 2008) et l'augmentation de la température de la surface de la mer (Freeland *et al.*, 1997; Whitney *et al.*, 2007; Freeland, 2013) entraînent une diminution de la teneur en oxygène dissous.

3.2 CONDITIONS DULÇAQUICOLES : TEMPÉRATURE FLUVIALE

La température de l'eau du fleuve Fraser a augmenté d'environ 1,5 °C depuis les années 1950 (Martins *et al.*, 2011) et pourrait augmenter encore de 1,9 °C d'ici 2100 (Morrison *et al.*, 2002). De tels changements à la température du fleuve peuvent nuire aux populations de poissons, en particulier le saumon, qui

sont sensibles à la température fluviale au début comme à la fin de leur cycle de vie (le saumon en période de frai n'entre pas dans les rivières trop chaudes, et le taux de mortalité des alevins vésiculés augmente avec la température de l'eau; Rand *et al.*, 2006; Martins *et al.*, 2011). La température fluviale pourrait augmenter dans l'ensemble de la province à mesure que la température de l'air annuelle moyenne augmente et que les glaciers et le manteau neigeux fondent. L'écoulement estival plus faible dans certains cours d'eau pourrait également entraîner un réchauffement de l'eau.

La température fluviale accrue peut nuire aux écosystèmes riverains et aux bénéfices que les humains en retirent par son effet sur les micro-organismes (Farrell et Rose, 1967), les amphibiens et les autres poikilothermes (c.-à-d. des animaux dont la température corporelle fluctue; Fry, 1967), les poissons (Elliot, 1994; Rand *et al.*, 2006; Martins *et al.*, 2011), les insectes (Ward, 1992), la qualité de l'eau (Morrill *et al.*, 2005) et les activités commerciales et récréatives (McMichael et Kaya, 1991). Même si les changements climatiques auront un effet sur la température fluviale, beaucoup d'autres facteurs anthropiques peuvent aussi exercer une influence et les recherches se poursuivent en vue d'améliorer notre compréhension de ces moteurs non climatiques (Webb *et al.*, 2008).

3.3 CHANGEMENTS ÉCOLOGIQUES MARINS

Les changements climatiques altéreront l'écologie marine de la côte de la Colombie-Britannique en entraînant une modification de la répartition verticale, côtière (Brodeur *et al.*, 2006) et latitudinale (Cheung *et al.*, 2011) des espèces. Même si les changements dans la répartition seront complexes (Schiel *et al.*, 2004), on constate une tendance générale de déplacement des espèces vers les pôles dans le nord-est du Pacifique (Brodeur *et al.*, 2003; Zacherl *et al.*, 2003; Brodeur *et al.*, 2005, 2006; Trudel *et al.*, 2006; Wing, 2006; Orsi *et al.*, 2007; Rogers-Bennett, 2007; Harding *et al.*, 2011). On prévoit un déplacement de près de 300 km dans l'aire de répartition normale de 20 espèces pour la période s'étendant de 2005 à 2055 (Cheung *et al.*, en préparation). Cette prévision s'appuie sur des observations des changements dans l'aire de répartition des espèces au fil des décennies et pendant les cycles chaud-froid de l'ENSO (Orsi *et al.*, 2007). Par exemple, des espèces rarement vues près des côtes de la Colombie-Britannique ont été observées et consignées pendant l'oscillation El Niño de 1982–1983 (Fulton, 1985; Okey *et al.*, 2012) et ont été observées périodiquement depuis (Brodeur *et al.*, 2006; Trudel *et al.*, 2006; Wing, 2006). Cela a entraîné des augmentations temporaires de la biodiversité tributaires de la variation du climat plutôt que des changements climatiques. Toutefois, à mesure que les eaux se réchauffent et que la zone de transition écologique constituant l'aire de répartition nordique de nombreuses espèces non endémiques de la Colombie-Britannique se déplace vers le nord, de telles occurrences pourraient devenir plus courantes.

Les conditions environnementales changeantes et la proximité d'une zone de transition écologique peuvent être à l'origine du développement dans la région de la côte Ouest d'un biote relativement résilient et sensible aux changements climatiques et océanographiques. Puisque les changements climatiques

favorisent le chevauchement des zones de transition nord et sud, l'augmentation connexe dans une région présentant déjà une biodiversité considérable pourrait contribuer à un renforcement de la résilience écologique (Okey et al., 2014). Toutefois, cela peut nuire à certaines espèces, dont le saumon du Pacifique, la sardine, l'anchois et le merlu du Chili (p. ex. Robinson et Ware, 1999; Ware et Thomson, 2000; Wright et al., 2005), qui sont extrêmement sensibles aux changements dans les conditions océanographiques. Les variations des conditions océaniques peuvent entraîner des changements radicaux dans la répartition et l'abondance des espèces à courte durée de vie (c.-à-d. à cycles d'expansion et de ralentissement), mais pas de celles à la durée de vie plus longue. Ce phénomène est attribuable au fait que les espèces à longue durée de vie qui connaissent peu de succès en reproduction pendant les périodes de stress environnemental peuvent survivre pour produire des cohortes supplémentaires lorsque les conditions s'améliorent, au contraire des espèces à courte durée de vie qui en sont incapables.

On s'attend à ce que les changements climatiques exercent une influence dominante sur les conditions maritimes dans le Pacifique Nord au cours des décennies à venir (Overland et Wang, 2007). La réorganisation à long terme des espèces côtières peut inclure la séparation dans l'espace ou le temps d'espèces ayant évolué conjointement. Par exemple, le moment de la naissance des oisillons de la starie de Cassin et du macareux rhinocéros (des oiseaux de mer) coïncidait historiquement avec le pic de population de leur proie, le copépode *Neocalanus cristatus*. À mesure que la température de l'océan augmentait au cours des années 1990, le pic de population de *Neocalanus* a commencé à se manifester plus tôt dans l'année (Bertram, 2001). Cela a causé un décalage entre le pic de demande de nourriture des macareux et le pic de population d'une source de nourriture essentielle (Hipfner, 2008; Borstad et al., 2011). Cet exemple laisse entrevoir la possibilité de changements écologiques plus généraux liés à la productivité sur la côte pacifique du Canada en raison de la sensibilité d'autres sources de nourriture et d'autres producteurs primaires importants, comme le plancton, à la variabilité et aux changements climatiques (Mackas et al., 1998; Bertram, 2001; Mackas et al., 2007; Batten et Mackas, 2009).

4 EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES SEC-TEURS ET LES COLLECTIVITÉS

Environ quatre habitants sur cinq de la Colombie-Britannique résident dans des villes et des villages côtiers (BC Stats, 2013a). Des millions de personnes et des milliards de dollars de marchandises arrivent chaque année dans les aéroports, les ports et les gares maritimes qui bordent les côtes de la province. L'océan ne se trouve qu'à quelques mètres de ces infrastructures essentielles, et les risques d'inondation augmentent au même rythme que le niveau de la mer.

La diversité des défis posés par les changements climatiques pour les résidents et les industries de cette région découle de son exposition aux dangers (p. ex. proximité de l'océan et élévation) de même que de sa capacité de s'adapter aux risques

que cela engendre (c.-à-d. connaître les dangers et posséder les ressources nécessaires pour y pallier).

Les impacts potentiels des changements climatiques sur les collectivités et les entreprises côtières sont variés et comprennent entre autres l'élévation du niveau de la mer, les changements dans la fréquence et la violence des tempêtes et les écosystèmes changeants. À mesure que le niveau de la mer augmente, la hauteur des vagues par rapport au littoral augmente aussi en raison de la profondeur accrue de l'eau et, en conséquence, le potentiel destructeur des vagues plus hautes qui se manifesteraient pendant les marées de tempête positives. La nouvelle dynamique des vagues pourra non seulement avoir un effet sur les taux de remise en suspension et de transport des sédiments mais aura également le potentiel de remettre en suspension des matières toxiques, comme les métaux lourds, qui se sont accumulées sur le plancher océanique (Eggleton et Thomas, 2004; Kalnejais et al., 2007, 2010; Roberts, 2012). Les agglomérations côtières sont confrontées à des risques croissants de perte de territoire, de dommages aux infrastructures et des répercussions sur les industries des ressources naturelles et du tourisme (Klein et Nicholls, 1999; Craig-Smith et al., 2006). Les risques généraux qui se posent pour différentes régions de la côte Ouest sont résumés ci-après :

Lower Mainland : Le « Lower Mainland » compte la plus importante population de la région de la côte Ouest, avec près de 61 % des Britannico-colombiens et 75 % des résidents vivant sur la côte (BC Stats, 2013b). Il s'agit également de la sous-région de la province à la croissance la plus rapide, avec une croissance annuelle prévue de 1,6 % au cours des deux prochaines décennies (BC Stats, 2013b). Le développement rapide, la densification urbaine et le commerce international croissant que rendent possible les points d'accès situés dans des zones de faible altitude exposées à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations dues à une marée de tempête constituent des préoccupations pour cette région. Une augmentation d'un mètre du niveau de la mer pourrait inonder plus de 15 000 hectares de terres agricoles et 4 600 hectares de terres urbaines dans cette région (Yin, 2001). Surélever les digues afin de protéger ces zones exposées est un projet dont le coût pourrait atteindre 9,5 milliards de dollars pour Metro Vancouver (Delcan, 2012). Tel qu'en font état les études de cas subséquentes (section 4.2.2), le district régional du Grand Vancouver et les gouvernements locaux qui en sont membres travaillent activement à la planification des mesures d'adaptation susceptibles de les aider à faire face à l'élévation du niveau de la mer. Les études de cas de la section 4.3 portent sur deux grands centres économiques, soit Port Metro Vancouver et l'aéroport international de Vancouver, qui ont tous deux démontré qu'ils sont conscients des conséquences possibles de l'élévation du niveau de la mer et qui travaillent avec les municipalités avoisinantes à cerner des solutions potentielles.

Île de Vancouver : Sur l'île de Vancouver, le District régional de la capitale (DRC), comprenant 13 gouvernements locaux (y compris la capitale provinciale), est la deuxième région la plus peuplée de la province. Le DRC n'est pas aussi exposé à l'élévation du niveau de la mer que Metro Vancouver, compte tenu de son altitude légèrement supérieure et de ses foyers de population plus petits, mais les changements climatiques demeurent néanmoins un sujet préoccu-

pant. L'élévation du niveau de la mer mettra en péril les zones de faible altitude, y compris le port intérieur de Victoria (source importante de revenus touristiques) et la base des Forces canadiennes d'Esquimalt (port d'attache de la flotte canadienne du Pacifique). Les pénuries d'eau estivales attribuables aux sécheresses constituent la plus grande préoccupation à court terme liée aux changements climatiques dans le DRC, qui ne reçoit qu'environ la moitié des précipitations annuelles dont jouissent les basses-terres continentales. Les autorités du DRC sont conscientes du fait que les changements climatiques présentent des défis et ont déjà commencé à planifier en vue de s'y adapter (p. ex. District régional de la capitale, 2012).

L'élévation du niveau de la mer, les tempêtes et les inondations imputables aux marées de tempête préoccupent l'ensemble de l'île de Vancouver; en effet, les répercussions des marées de tempête sont particulièrement prononcées là où la côte est exposée à de grandes étendues d'eaux libres. Les perturbations potentielles des réseaux de transport, comme les services de traversier, attribuables aux tempêtes ou aux dommages causés aux jetées préoccupent plusieurs des petites collectivités de cette région.

Côte Nord et centrale : Les petites collectivités le long de la côte Nord et de la côte centrale de la Colombie-Britannique ont connu d'importantes perturbations sociales et économiques au cours des deux dernières décennies en raison de facteurs non climatiques comme le déclin des industries régionales de la pêche et de la foresterie (p. ex. Matthews, 2003; Young, 2006). Les industries de la transformation du bois et de la pêche sont maintenant toutes deux centralisées et de nombreux emplois ont été relocalisés dans le « Lower Mainland ». Par exemple, l'emploi dans la pêche de capture a chuté à moins de 25 % de ce qu'il était il y a 20 ans (avec un nombre d'emplois estimé à 1 400 en 2011; Stroomer et Wilson, 2013) et la centralisation de beaucoup des emplois restants a eu pour conséquence de laisser relativement peu de pêcheurs et d'ouvriers au traitement du poisson dans les régions périphériques.

Par contraste avec le déclin des industries renouvelables primaires, l'intérêt récent porté à la mise en valeur de l'énergie et à la marine marchande favorise la croissance dans certaines collectivités de la côte nord de la Colombie-Britannique, notamment Kitimat et Prince Rupert. Dans ces collectivités, les impacts les plus préoccupants des changements climatiques sont liés à l'augmentation de l'activité orageuse, laquelle est susceptible de nuire aux terminaux d'exportation côtiers et de créer des conditions dangereuses pour la marine marchande. L'expansion de l'activité économique le long de la côte Nord est peut-être le plus important développement à avoir eu lieu depuis la dernière évaluation des impacts climatiques et de l'adaptation réalisée pour le compte de la Colombie-Britannique (Walker et Sydneysmith, 2008).

L'augmentation de l'activité orageuse préoccupe les collectivités de la côte centrale. La seule liaison routière avec cette région, l'autoroute 20, peut être emportée lors des grosses tempêtes associées aux rivières atmosphériques, comme l'a démontré l'inondation de Bella Coola en septembre 2010. Les inondations peuvent endommager les propriétés, les infrastructures et les habitats et présenter un danger pour la santé et la sécurité humaines. Les collectivités de cette région sont relativement isolées

et l'accès aux autres collectivités peut être temporairement coupé pendant les tempêtes.

Le reste de cette section porte dans un premier temps sur les répercussions des changements climatiques sur les pêches. On décrit les transformations qui touchent le secteur et on examine les difficultés et les stratégies d'adaptation potentielles. Dans un deuxième temps, on examine les impacts communautaires potentiels en s'appuyant sur un ensemble d'études de cas qui illustrent l'état actuel des mesures d'adaptation mises en œuvre dans la région.

4.1 PÊCHES

Les pêcheurs ne pêchent pas seulement à partir d'un bateau donné; il est juste de dire qu'ils pêchent également à partir d'une collectivité. Il s'agit peut-être là de la plus importante distinction entre le monde du travail dans les collectivités rurales et celui du travail industriel et en usine que l'on trouve dans les plus grands centres... Dans les collectivités d'agriculteurs et de pêcheurs, toutefois, séparer la vie professionnelle de la vie communautaire et de la vie familiale n'a aucun sens et est généralement impossible... Il est impossible d'étudier la nature du travail sans étudier ipso facto la vie communautaire et familiale [traduction]. (Matthews, 1993)

Les pêches font partie intégrante du tissu social des collectivités côtières de la Colombie-Britannique depuis des générations. Les pêches locales ne sont pas uniquement un secteur économique, mais peuvent également être un élément important du tissu social. Les pêches, en particulier la pêche au saumon, sont une source importante d'identité pour les Britannico-colombiens aussi bien autochtones que non autochtones. Par exemple, le saumon joue un rôle particulièrement important dans les communautés des Premières nations en appuyant les activités culturelles et en assurant la sécurité alimentaire.

Même si les poissons conservent une grande importance sociale, leur contribution économique diminue depuis le début des années 1990 (encadré 1). Les pêches assurent environ 14 000 emplois en Colombie-Britannique, une réduction de 30 % par rapport aux quelque 21 000 emplois disponibles il y a 25 ans (Stroomer et Wilson, 2013). La contribution économique des pêches, mesurée par leur contribution au PIB (tous secteurs confondus), a diminué de 28,8 % pendant la même période (figure 7). La pêche de capture mène ce déclin, alors que les industries de la transformation du poisson et de la pêche sportive présentent des réductions moins importantes de leur contribution au PIB. Le secteur de la culture commerciale est la seule pêche qui a connu une croissance pendant cette période.

Le déclin économique prononcé du secteur des pêches est particulièrement remarquable lorsqu'on le compare à d'autres industries de transformation des biens, qui elles ont augmenté de 41 % au cours des deux dernières décennies (figure 8). L'économie britanno-colombienne a connu une croissance de 72 % pendant cette période, croissance menée par le secteur des services, qui a connu une expansion de 85 %.

ENCADRÉ 1

SECTEUR DES PÊCHES DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Le secteur britanno-colombien des pêches a produit des recettes totales de 2,2 milliards de dollars en 2011, ce qui représente une contribution de 667 millions de dollars au PIB provincial et le versement de 338 millions de dollars en salaires (Stroomer et Wilson, 2013). La pêche sportive comptait pour 60 % de l'emploi et près de la moitié du PIB produit par ce secteur (tableau 1).

TABLEAU 1 : Aperçu de l'industrie des pêches de la Colombie-Britannique d'après des données de 2011 (Stroomer et Wilson, 2013).

Type de pêche	Main-d'œuvre	Contribution estimée au PIB (en millions de \$)	changement dans le PIB, 1990 à 2011 (en %)	Espèces importantes
Capture commerciale	1 400	102,3	-70,5	Saumon du Pacifique, hareng, poissons démersaux (p. ex. flétan), mollusques et crustacés (p. ex. palourdes, crabes)
Culture commerciale	1 700	61,9	298,1	Saumon de l'Atlantique, mollusques (palourdes, huîtres et moules)
Pêche sportive	8 400	325,7	-8	Saumon quinnat, rouge et coho, flétan, truite
Transformation des fruits de mer	2 400	177,5	-19,6	Saumon du Pacifique et de l'Atlantique, hareng, poissons démersaux
Total	13 900	667,4	-28,8	—

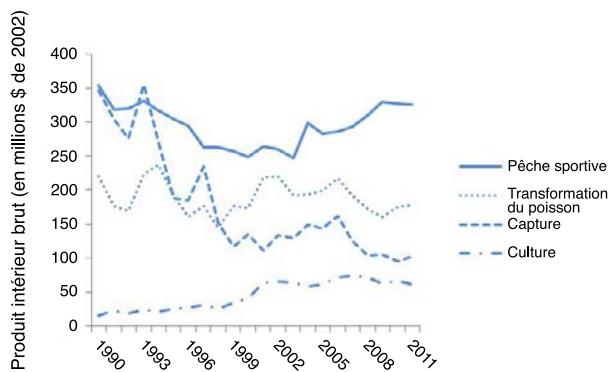


FIGURE 7 : Produit intérieur brut (PIB) réel par secteur en Colombie-Britannique, de 1990 à 2011 (Stroomer et Wilson, 2013).

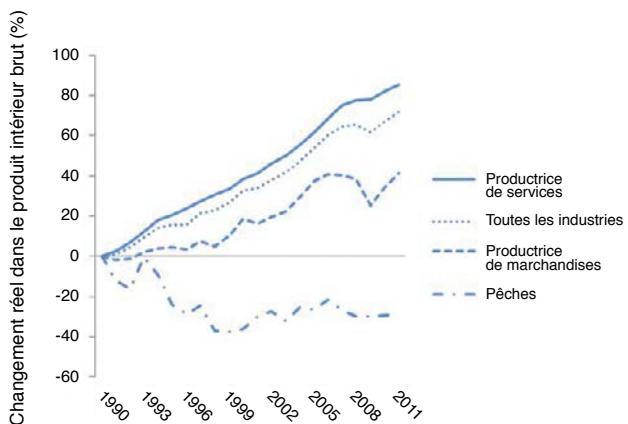


FIGURE 8 : Changement réel dans le produit intérieur brut (PIB) par secteur (Stroomer et Wilson, 2013).

4.1.1 IMPACTS CLIMATIQUES

L'évolution des conditions marines, y compris la température, la teneur en oxygène et d'autres propriétés biogéochimiques, altèrent actuellement les pêches en Colombie-Britannique (Cheung et al., 2012). On s'attend à ce que ces changements se poursuivent et touchent de nombreuses espèces de poissons (section 3; Cheung et al., 2013). Les changements dans la température de l'eau sont ceux qui semblent avoir la plus forte incidence sur les poissons. Ces changements bien connus et quantifiables (Pauly, 2010) ont modifié la répartition, l'abondance, le métabolisme, la croissance et la fécondité (succès de reproduction) des espèces. Par exemple, les données sur les prises mondiales de 1970 à 2006 démontrent que les prises commerciales de la région de la côte Ouest du Canada ont été de plus en plus dominées par des espèces vivant en eau chaude (Cheung et al., 2013). Ces changements, après avoir tenu compte des effets des pêches et de la variabilité océanographique à grande échelle, sont solidement liés au réchauffement des océans.

Historiquement, la variabilité du climat a exercé une grande influence sur les stocks de poissons du Pacifique (p. ex. Finney et al., 2002), influence principalement associée aux oscillations naturelles du climat comme l'ENSO et l'ODP (voir le chapitre 2; Powell et Xu, 2011). Toutefois, au fil des changements que subira le climat au cours du siècle prochain, il est probable que les conditions changeantes auront une incidence non seulement sur la répartition et l'abondance des espèces marines, entraînant ainsi d'importantes répercussions écologiques (Beaugrand et al., 2002, 2008; Brierley et Kingsford, 2009; Cheung et al., 2009, 2010, 2013; Blanchard et al., 2012). Par exemple, l'étude des données historiques révèle un déclin plus rapide de l'eulakane (éperlan; *Thaleichthys pacificus*) dans les rivières australes le long de la

côte du Pacifique par rapport aux changements remarqués dans les populations des rivières plus au nord (Moody et Pitcher, 2010); on signale en outre la présence de plus en plus d'espèces d'eau chaude qui étaient rares par le passé, comme l'encornet géant (*Dosidicus gigas*; Cosgrove 2005; La Presse canadienne, 2009) et une biomasse croissante de sardine de Californie (*Sardinops sagax*; Ishimura *et al.*, 2012, 2013).

On a également des preuves que les stocks de saumon se déplacent vers les pôles en réaction à l'augmentation de la température des océans et des rivières (p. ex. Moody et Pitcher, 2010). Dans le sud de la Colombie-Britannique, on a enregistré un déclin régional prononcé des populations de saumon rouge (MPO, 2011b; Irvine et Crawford, 2012, Peterman et Dorner, 2012), et on est raisonnablement certains que les températures croissantes influant sur les populations marines et dulçaquicoles de jeunes et d'adultes nuisent, et continueront de nuire, à la production de saumon rouge dans le fleuve Fraser (MacDonald *et al.*, 2000; Hyatt *et al.*, 2003; Crossin *et al.*, 2008; Hinch et Martins, 2011; McKinnell *et al.*, 2011; Peterman et Dorner, 2011). Les changements dans la température de l'eau peuvent également nuire à la migration en amont des rivières et à la survie du saumon pendant les étapes de son cycle de vie passée en eau douce (Welch *et al.*, 1998; Cooke *et al.*, 2004; Irvine et Fukuwaka, 2011; Rogers et Schindler, 2011; Selbie *et al.*, 2011).

À mesure que les glaciers reculent, la réduction du débit des rivières et les changements connexes à la qualité et à la température de l'eau dans les bassins hydrographiques alimentés par les glaciers sont susceptibles de porter atteinte au saumon coho, dont les modèles de reproduction sont liés au déversement des rivières dans l'océan (Bryant, 2009). Les rivières plus chaudes peuvent également retarder l'entrée du saumon rouge dans les frayères à l'automne et peuvent déclencher une migration plus rapide des saumons juvéniles riverains vers l'océan, alors que les sources de nourriture marine côtières sont peu abondantes (Bryant, 2009). Les projections fondées sur différents scénarios de température fluviale ont démontré qu'un déclenchement de plus en plus précoce des montaisons (Reed *et al.*, 2011) était possible.

Même s'il est possible que les populations australes de saumon manifestent une certaine adaptation aux températures fluviales plus élevées, les données actuelles (p. ex., sort des populations de saumon de la Californie; Katz *et al.*, 2013) semblent indiquer un déplacement général vers le nord de l'abondance relative de la population et une pression soutenue sur les stocks. Dans toute la région de la côte Ouest, les changements climatiques représentent une menace pour les stocks de saumon modestes ou ceux faisant preuve d'exigences uniques relatives à leur habitat (Bryant, 2009). Les régions au nord de la province connaîtront probablement des résultats neutres ou positifs en ce qui a trait au saumon (Peterman et Dorner, 2011), bien que cette situation pourrait ne durer que quelques décennies.

4.1.2 IMPACTS SUR LES TYPES DE PÊCHES

PÊCHE DE CULTURE COMMERCIALE

La pêche de culture commerciale est le secteur à la croissance la plus rapide des quatre types de pêches britanno-colombiennes

examinées ici, étant donné son augmentation de près de 300 % pendant la période de 1990 à 2011, la croissance la plus importante ayant eu lieu entre 1999 et 2007. Le saumon apporte la plus importante contribution de ce secteur au PIB et représente 86,7 % du total, les 13,3 % restants appartenant aux mollusques et crustacés (Stroomer et Wilson, 2013).¹

L'acidification de l'océan est un défi majeur pour les mollusques économiquement importants et fortement calcifiés comme l'ormeau (Crim *et al.*, 2011), l'huître (Kurihara *et al.*, 2007), la moule (Melzner *et al.*, 2011), la palourde (Ries *et al.*, 2009) et l'oursin (Reuter *et al.*, 2011). La valeur au gros de la pêche aux mollusques en Colombie-Britannique (culture et capture) était de 224,9 millions de dollars en 2010 (BC Ministry of Agriculture de la Colombie-Britannique, 2011). Les effets d'une eau à faible pH ont récemment acquis plus d'importance dans les installations d'aquaculture de Colombie-Britannique en raison de la perte de cohortes entières de larves lorsque les remontées d'eau ont permis à l'eau corrosive de pénétrer dans les prises d'eau d'une installation (R. Saunders, communication personnelle, 2014). Les répercussions sur l'industrie pourraient atteindre des millions de dollars par an, mais il est difficile d'établir des prévisions exactes en raison de la rareté des données de surveillance.

Les changements climatiques peuvent également avoir une incidence sur la pêche de culture de mollusques en raison de changements de zonage induits par la température, qui auraient pour résultat de pousser les organismes cultivés vers les eaux plus profondes. La limite supérieure de certains prédateurs, dont l'habitat a peu de chances d'être touché, représente la limite inférieure de cette migration verticale vers le bas. En conséquence, l'aire d'habitat des mollusques s'en trouve comprimée. On compte au nombre des impacts potentiels, la difficulté de se procurer des larves et des semis, dont la santé et la productivité seront atteintes par l'acidité croissante et la perturbation de la température (Huppert *et al.*, 2009). Il est possible que les pêches de culture de mollusques puissent s'adapter en déplaçant les exploitations plus au nord vers des eaux plus froides afin d'éviter cette compression entre la température et les prédateurs.

PÊCHE DE CAPTURE COMMERCIALE

Le secteur de la capture commerciale a connu un déclin de 70,5 % en PIB réel depuis 1990. Le nombre d'emplois dans le secteur a diminué de 78,8 % au cours de la même période. La plus grande partie du déclin des pêches de capture s'est produite pendant les années 1990 (figure 7), en partie à cause de la diminution de beaucoup de sous-populations de saumon et d'une approche stratégique prudente. La contribution économique du saumon a diminué de 82,5 % au cours de la période de 1990 à 2011. En 1990, le saumon comptait pour 55,3 % de la valeur totale de la pêche de capture en Colombie-Britannique. En 2011, cette proportion avait chuté à 13,4 % (tableau 2).

Le saumon ne domine plus ce secteur, mais fait maintenant partie d'un groupe de plusieurs espèces de capture importantes (tableau 2) comprenant également le flétan, la panope et la

¹ Le saumon a apporté une contribution de 58,5 millions de dollars et les mollusques et crustacés, une contribution de 9 millions de dollars au PIB en 2011. Toutefois, la contribution totale à ce secteur n'est que de 61,9 millions de dollars en raison de la perte de 5,9 millions de dollars attribuable à d'autres espèces.

palourde de même que les crevettes, ce qui démontre l'adaptabilité du secteur. Les poissons démersaux (qui comprennent le flétan, la morue charbonnière, la merluche et le sébaste) constituent maintenant la plus grande part de la pêche de capture en Colombie-Britannique et représentent 39 % de la

valeur totale. L'espèce à la croissance la plus rapide, en ordre d'importance économique, est le thon, dont la contribution au secteur était négligeable il y a vingt ans, mais dont les prises débarquées sont maintenant près de 35 fois plus nombreuses qu'alors (tableau 2).

TABLEAU 2 : Composition changeante de la pêche de capture en Colombie-Britannique, de 1990 à 2011 (Stroomer et Wilson, 2013). « Proportion de la valeur totale » indique la proportion (en %) de la contribution de chaque espèce au produit intérieur brut (PIB) réel de la pêche de capture d'espèces sauvages.

Espèces	Proportion de la valeur totale, 2011 (en %)	Proportion de la valeur totale, 1990 (en %)	Changement dans le PIB réel par rapport à 1990 (en %)
Saumon	13,4	55,3	-82,5
Flétan	13,2	4,4	116,1
Panopes et palourdes	12,4	3,4	166,3
Crevettes	11,9	2,0	327,1
Crabe	9,4	2,0	249,5
Thon	8,3	0,2	3 487,5
Morue charbonnière	7,9	4,1	40,2
Sébaste	7,5	3,3	67,7
Autres poissons démersaux	5,5	3,9	1,1
Merluche	4,8	2,7	28,9
Autres (non démersaux)	4,6	1,7	98,7
Hareng	1,1	17,1	-95,3
Total	-	-	-27,6
Tous les poissons démersaux	39,0	18,4	53,3

Il est important de remarquer que les prises de poissons démersaux ont peu de chances, à elles seules, de permettre à la pêche de capture en Colombie-Britannique d'enregistrer des valeurs semblables à celles qu'elle a connues au début des années 1990. Le cycle reproducteur plus long de ces poissons en est la raison. Par exemple, il faut au flétan de deux à trois fois plus de temps qu'au saumon pour atteindre la maturité sexuelle (entre 8 et 12 ans). Le flétan peut également vivre dix fois plus longtemps que le saumon, soit plus de 50 ans (Forsberg, 2013), et son potentiel reproducteur augmente avec sa taille, ce qui signifie que la capture d'un gros poisson a une plus grande incidence sur le remplacement des stocks.

À mesure que la répartition des espèces le long de la côte Ouest de l'Amérique du Nord se déplacera vers le nord en réaction aux changements climatiques, de nouvelles espèces deviendront accessibles et la disponibilité des espèces actuelles changera, de façon à offrir de nouvelles possibilités aux pêcheurs de la Colombie-Britannique. Il est également possible que ces changements créent des problèmes au niveau de la gestion transfrontalière des espèces qui migrent entre les eaux canadiennes et américaines. La gestion coopérative de nouveaux stocks internationaux économiquement importants peut devenir une considération majeure par rapport à l'adaptation aux changements dans les répartitions des poissons le long de la côte Ouest de l'Amérique du Nord (étude de cas 2).

ÉTUDE DE CAS 2

PÊCHES TRANSFRONTALIÈRES : LE CAS DE LA SARDINE DU PACIFIQUE

Le droit exclusif d'un pays de gérer et de conserver les ressources halieutiques dans sa zone économique exclusive (ZEE) a été accordé par la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (UNCLOS) de 1982. Même si ce droit revient, du point de vue juridique, à chaque pays côtier, d'importants défis peuvent être soulevés lorsqu'il s'agit de la conservation et de la gestion des stocks de poissons transfrontaliers (c.-à-d. les stocks dont la répartition ou la migration chevauche les ZEE de plus d'un pays (Nations Unies, 1982). Dans ces cas, les tentatives unilatérales de conservation et de gestion d'un stock de poisson transfrontalier engendrent généralement une dissipation des avantages économiques et une augmentation des risques d'épuisement de la ressource (Miller *et al.*, 2004; Munro, 2007). La gestion non coopérative entraîne ce que l'on a baptisé la « tragédie de la pêche incontrôlée » (Sumaila, 2013) parce qu'elle produit des résultats économiques et écologiques inférieurs à ceux des solutions coopératives (Herrick *et al.*, 2006; Bailey *et al.*, 2010). Toutefois, il

existe dans le monde de nombreux cas dans lesquels un nombre limité de pays a réussi à négocier la conservation et la gestion coopératives d'un stock partagé (Clark, 1990; Sumaila, 1999).

La sardine du Pacifique (*Sardinops sagax*) est un stock de poisson transfrontalier actuellement pêché uniquement par le Canada, les États-Unis et le Mexique sans entente coopérative (Ishimura et al., 2012). La sardine du Pacifique est un petit poisson pélagique qui se rassemble en bancs et dont l'abondance et la répartition dans l'écosystème du courant de Californie (ECC) sont fortement influencées par la variabilité du climat (Hill et al., 2006) et donc sensibles aux changements climatiques. Au cours du XX^e siècle, le stock nordique de ce poisson a fait preuve de fluctuations extrêmes dans son abondance et sa répartition, que l'on a attribuées principalement à la variabilité du climat inhérente au ECC (Norton et Mason, 2005; Herrick et al., 2006). Au cours des années 1970, le passage de l'ECC à un régime froid et une surpêche ont entraîné l'effondrement du stock, la fermeture de cette pêche et l'inscription de l'espèce parmi les espèces en voie de disparition au Canada. Au cours des années 1980, le passage à un régime chaud conjugué à l'adoption de mesures de conservation en Californie a permis à la population de sardines de se rétablir au point d'atteindre les niveaux traditionnels, de façon à permettre la réouverture de cette pêche au milieu des années 1980.

PÊCHE SPORTIVE (RÉCRÉATIVE)

La pêche sportive est le secteur des pêches qui apporte la plus importante contribution au PIB provincial et se divise entre la pêche sportive en eau salée (environ 60 %) et la pêche sportive en eau douce (environ 40 %). Le nombre de pêcheurs en eau à marées (eau salée) est passé de quelque 145 000 en 2000 à 166 000 en 2010, alors que le nombre de pêcheurs en eau douce s'est maintenu à environ 236 000 pendant la même période (MPO, 2011a). Les recettes tirées de ce secteur proviennent en grande partie du processus de la pêche plutôt que des poissons eux-mêmes. Pour cette raison, il y a chevauchement entre les contributions au PIB attribuées à la pêche sportive et à l'industrie du tourisme. Par conséquent, toute discussion sur l'impact potentiel des changements climatiques sur la pêche sportive doit porter non seulement sur la disponibilité et la répartition des poissons eux-mêmes mais également inclure la question de l'accessibilité et le coût des possibilités de pêche sportive.

Le saumon du Pacifique est une source majeure de revenus pour l'industrie de la pêche sportive. Ce poisson est recherché tant par les pêcheurs locaux que par les touristes et les efforts de pêche se concentrent principalement dans le sud de la province. Il est possible qu'un déplacement vers le nord de l'aire de répartition du saumon, pouvant donner lieu à un changement dans le nombre de saumons dans les eaux longeant sud de la côte, ait un impact considérable sur ce secteur. Cela s'explique par l'accessibilité moindre des forfaits de pêche dans le nord de la côte et par une réduction potentielle des dépenses en équipement de pêche au saumon dans la partie sud de la province.

PÊCHES DES PREMIÈRES NATIONS

On dispose de peu de données empiriques sur les pêches des Premières nations, à l'exception d'un petit nombre d'études communautaires (p. ex. Weinstein et Morrell, 1994; Jacob et al., 2010), et peu de ces renseignements sont disponibles dans le domaine public. Les données sont rares sur les espèces prélevées et le nombre de prises, sur la répartition et l'utilisation de ces prises, sur les besoins actuels et les besoins changeants prévus des collectivités de même que sur la contribution en nature de ces pêches aux moyens de subsistance locaux.

Il existe deux catégories principales de pêches des Premières nations : la pêche de subsistance (c.-à-d. alimentation, ou traditionnelle) et la pêche commerciale. Les données disponibles semblent indiquer que la pêche de subsistance compte pour environ 1 % des prises marines totales dans la région du Pacifique (Campbell et al., 2014). Toutefois, la véritable valeur de ces pêches dépasse de beaucoup ce que l'on peut représenter par des mesures comme la contribution au PIB et les recettes. Comme dans l'Arctique, la pêche de subsistance sert à renforcer la résilience de la collectivité aux changements environnementaux (p. ex. Nuttall, 2001; Smit et Wandel, 2006) et revêt une grande importance culturelle, puisqu'elle crée et renforce des liens familiaux et sociaux (Wenzel, 1991; Weinstein et Morrell, 1994; Berkes et Jolly, 2002; Lee, 2002).

Les prises de subsistance comptent pour une proportion importante (jusqu'à un tiers) des recettes en nature pour les Premières nations le long de la côte nord-ouest de l'Amérique du Nord (Vadeboncoeur et Chan, travaux en cours). La perte de l'accès aux sources d'aliments traditionnelles ou sauvages a été liée à la fois aux coûts accrus des soins de santé attribuables aux changements dans l'alimentation (généralement l'adoption de régimes alimentaires de moindre valeur nutritive) et au stress social psychologique découlant du déménagement qui peut accompagner la perte d'une partie importante des moyens de subsistance (p. ex. Callaway, 1995; Bjerregaard et Young, 1999; McGrath-Hanna et al., 2003; Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique, 2005).

L'Assemblée des Premières nations de la Colombie-Britannique a défini des étapes en vue de maintenir la viabilité des pêches commerciales des Premières nations, qui ne disposent souvent pas de la mobilité sur l'eau dont jouissent les flottes commerciales. Les bateaux employés pour ces pêches tendent à être beaucoup plus petits que ceux des exploitations commerciales à grande échelle, ce qui limite leur autonomie. Les stratégies de gestion des pêches des Premières nations comprennent, par exemple, la gestion des ressources aquatiques axée sur l'écosystème, la conservation de l'habitat et les négociations concernant les allocations de poissons.

Les deux catégories de pêches des Premières nations, en particulier dans le sud de la Colombie-Britannique, peuvent être fortement touchées à mesure que les aires de répartition des espèces abondantes comme le saumon, le hareng et l'eulakane se déplacent vers le nord. Les changements au moment et à l'importance des migrations anadromes des saumons peuvent également poser des problèmes aux pêcheurs des Premières nations dont les activités culturelles et les méthodes de conservation du poisson peuvent être sensibles à ces changements (Jacob et al., 2010). Les négociations en cours qui ont lieu entre les Premières nations et le gouvernement fédéral ont pour objet d'aider à corriger ce problème en faisant passer graduellement certaines pêches entreprises par des exploitations commerciales non

autochtones sous contrôle autochtone (McRae et Pearse, 2004; BC Assembly of First Nations, 2007). Des efforts sont en cours afin de mieux cerner le degré de vulnérabilité des Premières nations aux changements climatiques et l'élaboration de stratégies d'adaptation (encadré 2) fait également l'objet d'études.

4.2 IMPACTS ET RÉACTIONS COMMUNAUTAIRES

L'élévation du niveau de la mer représente une menace à long terme en augmentant le risque d'inondation côtière. Toutefois, elle augmente également l'impact potentiel des inondations dues à une marée de tempête (p. ex. dommages aux infrastructures sublittorales) parce qu'une plus grande profondeur des eaux sublittorales fait augmenter la hauteur et l'énergie des vagues lorsqu'elles frappent les structures côtières. L'importance des inondations dues à une marée de tempête est liée à la vitesse et à la durée du vent, la longueur de portée (soit la longueur de temps que les vagues peuvent se déplacer de manière ininterrompue avant de se briser sur la grève) et la pression atmosphérique (*voir le chapitre 2*). Par conséquent, même si l'élévation du niveau de la mer comme telle présente des risques, la combinaison de niveaux d'eau extrêmement élevés et de tempêtes présente elle le plus grand potentiel de destruction.

Les coûts humains et économiques des conditions météorologiques extrêmes ont augmenté en Colombie-Britannique au cours des 40 dernières années (tableau 3; Sécurité publique Canada, 2013). On s'attend à ce que cette tendance se maintienne tant que continueront d'augmenter la fréquence ou l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les rivières atmosphériques.

4.2.1 LA CÔTE AMÉNAGÉE

Les efforts déployés récemment dans le but de préparer le littoral aux impacts des changements climatiques ont principalement portés sur le phénomène de l'élévation du niveau de la mer. D'autres phénomènes, comme les rivières atmosphériques, sont associés à des dangers comme des inondations susceptibles d'endommager les routes, les digues et les propriétés privées, mais on comprend moins bien la gravité et la répartition des risques connexes. Par conséquent, cette section met principalement l'accent sur l'élévation du niveau de la mer.

Il existe plusieurs approches de la protection des côtes que les collectivités peuvent envisager et, compte tenu de la lenteur relative de l'élévation du niveau de la mer, il est possible d'intégrer l'adaptation dans les plans à long terme existants touchant l'infrastructure et la collectivité. Les options d'adaptation sont généralement divisées en cinq catégories (*voir le chapitre 3*) qui mettent principalement l'accent sur les options permettant de composer avec les changements survenant à l'environnement physique :

- Protection (p. ex. mesures de protection structurelles (rigides) comme les digues littorales et les ouvrages longitudinaux et les mesures de protection non structurelles (souples) comme la recharge des plages et le rétablissement de la végétation sublittorale);
- Accommodements (p. ex. bâtiments surélevés, prestation d'autres routes de transport);
- Évitement et retrait (p. ex. retrait de structures à risque élevé et prévention de toute nouvelle construction dans les zones inondables);
- Absence d'intervention active (c.-à-d. la décision de ne prendre aucune mesure suite à l'examen des renseignements disponibles);
- Préparation aux situations d'urgence (p. ex. systèmes d'alerte rapide, préparation à l'évacuation, intervention en cas de catastrophe).

ENCADRÉ 2

ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LES COLLECTIVITÉS CÔTIÈRES DES PREMIÈRES NATIONS EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

Les impacts des changements climatiques touchent déjà les collectivités autochtones de tout le Canada. Le programme d'adaptation aux changements climatiques d'Affaires autochtones et Développement du nord Canada appuie l'élaboration de renseignements et d'outils pertinents au niveau communautaire afin de permettre aux collectivités, aux gouvernements et aux organismes autochtones d'évaluer les vulnérabilités aux changements climatiques et de mettre au point des plans d'adaptation. Le programme met l'accent sur le renforcement de la capacité et l'atténuation des impacts liés à l'érosion côtière, à l'élévation du niveau de la mer, à la qualité et la quantité de l'eau potable, aux phénomènes météorologiques extrêmes, à la sécurité alimentaire et à la gestion des urgences. Certaines collectivités côtières des Premières nations de la Colombie-Britannique sont au nombre des participants au programme. Par exemple, le Conseil de bande de Hartley Bay et la Première nation Semiahmoo ont réalisé des évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques de même que des plans d'adaptation en adoptant une approche holistique qui tient compte des changements aussi bien dans le milieu biophysique que le milieu socioculturel. Le Conseil de bande de Hartley Bay (territoire Gitga'at, situé dans le nord-ouest de la côte britanno-colombienne) a déterminé que les changements futurs touchant les espèces marines et terrestres sont un facteur clé influant sur la disponibilité des sources d'aliments traditionnelles. La Première nation Semiahmoo (sud-ouest de la côte de la Colombie-Britannique) a évalué la vulnérabilité des infrastructures et la capacité de la communauté de relever ces défis. L'évaluation mettait particulièrement l'accent sur le système d'approvisionnement en eau et de distribution de l'eau, le système d'égout, l'accès routier et le risque d'inondation. La Première nation Semiahmoo a proposé des mesures d'adaptation spécifiques qui peuvent corriger les principales vulnérabilités cernées.

TABLEAU 3 : Quarante ans de phénomènes météorologiques extrêmes en Colombie-Britannique (Sécurité publique Canada, 2013). Les événements météorologiques comprennent les avalanches, les épisodes froids, les sécheresses, les inondations, les orages géomagnétiques, les épisodes chauds, les marées de tempête, les orages, les orages violents, les tornades, les feux de friches et les tempêtes hivernales.

Années	Nombre moyen de catastrophes* par an	Nombre moyen de phénomènes seuils** par an	Coût total normalisé par an des phénomènes seuils (en millions of 2010 \$)	Décès par an	Personnes évacuées par an
1970-1980	1,3	0,6	29,9	2,5	345
1981-1990	1,5	0,5	14,3	4,6	64
1991-2000	2,5	1,1	42,7	1,5	2 296
2001-2012	2,3	0,8	54	14	4 899

* Phénomènes inscrits sous la rubrique « catastrophes météorologiques » en Colombie-Britannique dans la Base de données canadienne sur les catastrophes.

** Phénomènes causant des dommages d'une valeur dépassant 1 million de dollars de 2010.

Les mesures de protection structurelles sont souvent coûteuses. Toutefois, des données indiquent que le coût de l'adaptation sera inférieur aux coûts engendrés par l'inaction. Par exemple, on prévoit que l'amélioration des digues de Metro Vancouver afin de protéger la collectivité contre une élévation d'un mètre du niveau de la mer coûtera environ 9,5 milliards de dollars (Delcan, 2012), mais protégera des actifs d'une valeur estimée à 33 milliards de dollars qui s'y trouvent exposés (Hallegatte *et al.*, 2013). Dans plusieurs cas, les mesures de protection non structurelles peuvent s'avérer moins coûteuses que les mesures de protection structurelles tout en offrant des avantages semblables en matière de protection. Par exemple, la Ville de West Vancouver a entrepris un projet pilote de disposition de blocs rocheux sous la ligne de marée basse qui réussit à atténuer l'impact des vagues (section 4.2.2).

Les mesures d'accommodement cherchent à réduire le risque de danger tout en permettant aux humains de continuer d'utiliser l'infrastructure, les terres et les eaux. Généralement, l'accommodement permet des impacts occasionnels et à court terme (p. ex. impacts des tempêtes ou des inondations saisonnières), et constitue une intervention appropriée lorsque le côté pratique de la protection des actifs côtiers n'en vaut pas le coût ou lorsque l'efficacité des mesures de protection serait relativement de courte durée. Les mesures d'accommodement sur la côte peuvent faire appel à un éventail de mesures comme la protection des marais salés locaux ou l'utilisation restreinte de zones désignées.

Les mesures d'évitement et de retrait comprennent des approches telles que la désignation de zones dangereuses où la construction est interdite et le rachat de propriétés dans les zones de risque.

Même si la décision de n'exécuter aucune mesure d'adaptation (ne rien faire) peut être une option valide (p. ex. lorsque les renseignements sont insuffisants ou que les données n'indiquent aucun danger), on recommande que ces décisions soient révisées dès que de nouveaux renseignements deviennent disponibles.

Chaque collectivité a des besoins uniques et l'éventail des mesures appropriées doit être étudié cas par cas, en tenant compte des facteurs climatiques et autres. Une planification proactive s'impose puisque le coût de l'adaptation peut être réduit lorsque cette dernière est intégrée à d'autres activités en cours, comme les calendriers d'entretien des infrastructures. Par exemple, il est moins coûteux de déplacer un égout lorsque les conduites atteignent la fin de leur vie utile que de l'enlever ou le mettre hors

service alors qu'il fonctionne bien. La plupart des plans d'adaptation comprennent un certain nombre d'initiatives provenant d'une ou plusieurs des catégories d'options, dont le choix est fait en fonction de leur capacité à pallier un éventail de vulnérabilités et de risques locaux susceptibles de changer au fil du temps.

Le type d'infrastructures de protection côtière qu'une collectivité choisit peut avoir une incidence marquée sur les écosystèmes sublittoraux. Les mesures de protection structurelles peuvent provoquer une compression côtière (voir le chapitre 3) et modifier les habitats marins en conséquence des changements provoqués dans l'énergie des vagues et les courants locaux (p. ex. Dugan *et al.*, 2008; Dawson *et al.*, 2009; Bulleri et Chapman, 2010). Il se peut aussi que certaines formes d'adaptation peuvent faciliter l'intégrité écologique, y compris les efforts qui réduisent le recours à des mesures de protection structurelles. La protection des caractéristiques géomorphologiques et des habitats naturels côtiers existants (Katsanevakis *et al.*, 2011) et l'application des principes de conservation écologique peuvent aider à réduire les impacts des tempêtes aussi bien que de l'élévation du niveau de la mer (p. ex. Borsje *et al.*, 2011).

Les fortes précipitations comme celles associées aux rivières atmosphériques présentent des difficultés en matière de planification de l'adaptation dans de nombreuses collectivités côtières. Cela s'explique par le fait que les structures bâties en vue de réduire l'impact des inondations côtières (p. ex. digues) pourraient nuire au fonctionnement de l'infrastructure de gestion des eaux pluviales. Par exemple, les digues pourraient poser un problème pour les systèmes de drainage par gravité dont les conduites d'écoulement ont été submergées, permettant à l'eau de remonter et de s'accumuler du côté des terres. Le potentiel de précipitations plus intenses peut exiger une capacité de pompage plus élevée, des conduites d'écoulement plus larges et le déplacement des conduites d'évacuation des eaux pluviales.

Divers documents d'orientation touchant l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer sont à la disposition des gouvernements locaux (p. ex. *Plan2Adapt*, *Climate Action Tool*), qui ont également le pouvoir de réglementer l'exposition aux risques d'inondation au moyen de règlements administratifs (BC Ministry of Environment, 2004). Des alliances entre les gouvernements locaux et d'autres organismes, en particulier des universités et des ONG, ont aidé les municipalités à accéder à des experts des domaines scientifique et technique afin de mieux éclairer leur planification de l'adaptation.

Les efforts d'adaptation peuvent produire des avantages tangibles, comme l'expansion des habitats fauniques et l'amélioration de la biodiversité. La détermination des avantages est importante parce que ces avantages peuvent être jugés en fonction de leurs coûts et des préoccupations des résidents locaux, qui peuvent être très attachés à des caractéristiques particulières de leur collectivité, comme dans le cas de la planification de l'adaptation à Qualicum Beach (section 4.2.2).

4.2.2 ÉTUDES DE CAS COMMUNAUTAIRES PORTANT SUR L'ADAPTATION

Cette section présente un éventail d'approches adoptées par des collectivités de toute la côte de la Colombie-Britannique (figure 9) afin de s'adapter aux changements climatiques. Les études de cas, présentées en ordre alphabétique, sont suivies d'un résumé des leçons retenues de leurs expériences.



FIGURE 9 : Emplacements des études de cas communautaires.

ÉTUDE DE CAS 3

DISTRICT RÉGIONAL DE LA CAPITALE : PLANIFICATION ENTREPRISE PAR LE GOUVERNEMENT RÉGIONAL EN VUE DE L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

(Nikki Elliot, gestionnaire, Programme d'action climatique, District régional de la capitale)

Situé à la pointe sud de l'île de Vancouver, le District régional de la capitale (DRC) est le gouvernement régional de 13 municipalités et 3 circonscriptions, y compris la capitale provinciale, Victoria. Les inondations causées par les marées de tempête constituent déjà un risque pour le DRC (figure 10). On s'attend à ce que le potentiel d'inondation d'infrastructures et de propriétés résiden-



FIGURE 10 : Marée de tempête de décembre 2010 dans le District régional de la capitale (photo gracieuseté du District de Saanich).

rielles, commerciales, institutionnelles et municipales dans le DRC augmente au même rythme que s'élève le niveau de la mer. En vue de réduire les vulnérabilités et les risques liés au climat, le Programme d'action climatique (Climate Action Plan) du DRC dirige un projet visant à mieux informer les municipalités qui en sont membres et les autres intervenants au sujet des répercussions de l'élévation du niveau de la mer.

Le Programme d'action climatique du DRC a été établi par règlement en 2008 et sert les municipalités en faisant fonction de ressource, de noyau et de facilitateur sur les questions d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation à ces mêmes changements. Travailant en partenariat avec les secteurs public, privé et sans but lucratif, le Programme d'action climatique appuie les changements au niveau des politiques, de la planification, de l'infrastructure et du comportement nécessaires afin de créer une région résiliente et à faibles émissions de carbone.

À la fin de 2013, le DRC lançait son projet de Coastal Sea-Level Rise Risk Assessment (Évaluation des risques côtiers liés à l'élévation du niveau de la mer) à titre de première étape vers la compréhension des répercussions de l'élévation du niveau de la mer dans la région de la capitale. La tâche principale de ce projet consistait à cerner et à cartographier les zones potentiellement vulnérables à l'élévation du niveau de la mer. La cartographie s'appuyait sur le rapport *Coastal Floodplain Mapping – Guidelines and Specifications Report* (cartographie des plaines inondables côtières – rapport portant sur les lignes directrices et les spécifications) réalisé en juin 2011 en Colombie-Britannique. L'analyse se concentrait sur 24 zones choisies en raison de la possibilité relativement élevée d'inondations futures prévues ou en fonction de la présence d'actifs communautaires clés. Une évaluation des actifs publics et privés dans ces zones a alors été entreprise en vue d'aider les gouvernements locaux à comprendre les risques économiques possibles que peuvent entraîner les inondations côtières.

Ce projet a fourni au CRD et à ses municipalités :

- Une carte montrant les niveaux d'inondation potentiels dans chaque zone d'intérêt;
- Une analyse de la profondeur prévue des inondations;
- La superficie et le pourcentage des principales utilisations du terrain dans les zones d'intérêt;
- Un sommaire des infrastructures et actifs publics dans les zones d'intérêt;
- La valeur totale des infrastructures et bâtiments publics et privés dans les zones d'intérêt;
- Une description des caractéristiques physiques du littoral dans les zones d'intérêt;
- Trois études de cas sur les coûts potentiels de l'élévation du niveau de la mer en termes de perturbations (zones commerciales, zones résidentielles et corridor de transport).

Ces renseignements fournissent aux municipalités des données à une échelle spatiale suffisamment détaillée pour leur permettre de comprendre facilement les impacts des changements climatiques au niveau local.

À partir des résultats du projet d'Évaluation des risques côtiers liés à l'élévation du niveau de la mer, le Programme d'action climatique du DRC et ses partenaires se sont lancés dans un projet visant à recueillir, à évaluer et à partager des approches possibles à la planification, à la réglementation et aux considérations structurelles, permettant ainsi d'aborder la question de l'élévation du niveau de la mer avec les employés municipaux de l'ensemble de la région.



FIGURE 11 : Crue de la rivière Courtenay, 2010 (photo gracieuseté de la Ville de Courtenay).

- À étudier les options d'atténuation des risques d'inondations (approches rigides et souples);
- À élaborer de manière générale une étude de gestion intégrée des inondations;
- À concevoir et à construire des ouvrages de protection contre les inondations.

Deux scénarios d'impact des changements climatiques ont été étudiés. Le premier présumait une élévation du niveau de la mer de un mètre d'ici 2100, conformément aux Guidelines for Management of Coastal Flood Hazard Land Use (lignes directrices pour l'utilisation des terres en vue de gérer le danger d'inondation côtière; Arlington Group Planning et al., 2013), de même qu'une augmentation de 15 % du débit de pointe des rivières d'ici 2100, d'après les lignes directrices sur les dangers d'inondation émises par la Association of Professional Engineers and Geoscientists de la Colombie-Britannique (Association of Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia, 2012). Le deuxième scénario étudiait les changements qui auraient lieu entre 2100 et 2200, et comprenait une élévation supplémentaire d'un mètre du niveau de la mer et une augmentation supplémentaire de 15 % du débit de pointe des rivières.

L'analyse de ces scénarios a éclairé une étude sur la gestion intégrée des inondations (Ville de Courtenay, 2014), qui présentait une série d'options d'atténuation des risques liés aux inondations. L'étude comprenait des options de protection structurelle (p. ex. digues et murs de protection contre les crues), des mesures d'amélioration de l'infrastructure (p. ex. systèmes terrestres de dispersion des eaux d'inondation et augmentation du volume des aires de rétention d'eau) et des approches d'accompagnement et d'évitement/retrait, comme le changement de zonage, la modification des niveaux de contrôle des inondations pour tenir compte des risques posés par l'élévation du niveau de la mer, et la restriction de l'aménagement de zones désignées comme des zones de risque. Les approches de la planification et de la gestion des inondations exigeront sans doute le recours à une combinaison de ces options, après consultation auprès de la collectivité.

Parmi les travaux en cours, on note l'élaboration du plan de gestion de l'estuaire K'ómoks, qui fournira un cadre stratégique pour les multiples compétences bordant l'estuaire (y compris la Première

ÉTUDE DE CAS 4

VILLE DE COURtenay : COORDINATION MULTI-NIVEAUX AUX FINS DE GESTION DES INONDATIONS CÔTIÈRES

(Allan Gornal, analyste des mesures climatiques, Nancy Hofer, planificatrice environnementale et Craig Armstrong, ingénieur, Ville de Courtenay)

La Ville de Courtenay, comme d'autres collectivités de la côte est de l'île de Vancouver, aborde la question des risques accrus d'inondation découlant des changements climatiques. Les crues majeures des rivières Courtenay et Tsolum en novembre 2009 et janvier 2010 ont perturbé la capacité de transport et d'intervention d'urgence, ce qui a poussé les autorités de la ville à agir (figure 11).

La planification de l'adaptation a débuté dès que la demande présentée par la Ville en vertu du Programme de protection contre les inondations de la Colombie-Britannique a été acceptée. Ces fonds ont servi :

- À mettre à jour la carte de la plaine inondable;
- À élaborer un modèle hydraulique dans le but de prévoir les élévations d'inondations en fonction de divers scénarios environnementaux;

nation K'ómoks, le District régional de Comox Valley, la Ville de Courtenay, la Ville de Comox, Pêches et Océans Canada et d'autres autorités). Les objectifs du plan sont d'établir des lignes directrices à court et à long terme pour les activités humaines dans l'estuaire, de réduire ou d'empêcher les impacts négatifs de la mise en valeur ou des activités humaines sur la qualité de l'eau et sur les écosystèmes aquatiques et terrestres, de même que de restaurer les habitats dégradés et protéger les habitats existants. Le plan fournit des orientations stratégiques s'appliquant à de nombreuses activités dans l'estuaire, y compris la protection du patrimoine culturel et de la qualité de l'eau, la gestion de la faune et l'utilisation des espaces de loisirs et des espaces verts, de même que des lignes directrices en matière de développement urbain, de navigation et de dragage, de stockage et de manipulation des billots, d'agriculture et d'aquaculture. Le plan est une composante importante d'une stratégie intégrée de gestion des inondations qui soulignera les répercussions possibles que des changements au niveau de l'utilisation des terres auront aussi bien sur la collectivité que sur les écosystèmes locaux, et facilitera la coordination multiniveaux nécessaire en vue d'assurer la réussite de la gestion d'une plaine inondable qui transepte les frontières des gouvernements locaux.

Les éléments du plan qui aident à atténuer les impacts des changements climatiques sont les suivants :

- Règlements coordonnés de cartographie et de gestion de la plaine inondable entre toutes les compétences gouvernementales locales, qui tiennent compte des changements possibles dans le niveau de la mer;
- Retraits homogènes dans les règlements de zonage;
- Lignes directrices homogènes dans la zone des permis d'aménagement en ce qui concerne le site et la conception du bâtiment eu égard aux retraits et aux zones tampons.

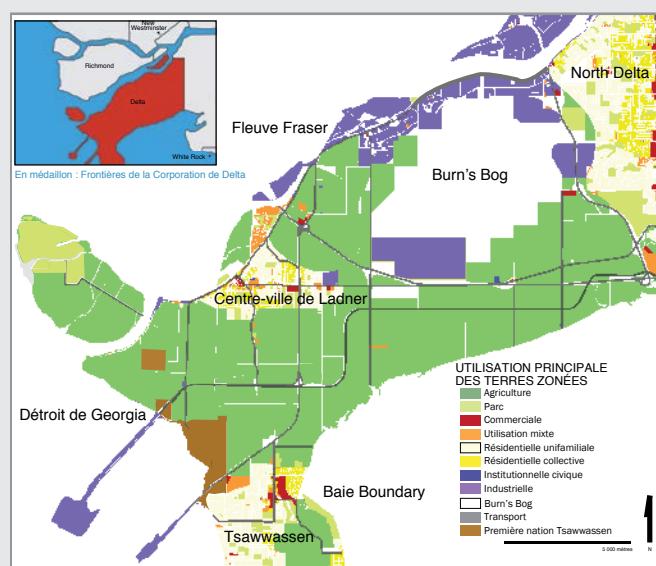


FIGURE 12 : Carte de l'utilisation des terres de la Corporation de Delta créée par la Collaborative for Advanced Landscape Planning (CALP) de l'Université de la Colombie-Britannique. Crédit image de la carte : G. Canete. Source de l'image pour le carton intérieur : http://en.wikipedia.org/wiki/File:GVRD_Delta.svg.

L'écosystème aquatique entourant cette collectivité peut, dans une certaine mesure, être résilient aux changements climatiques parce que des espèces importantes comme la zostère se déplaceront probablement vers les terres à mesure que le niveau de la mer s'élèvera. Les terrains marécageux et les vasières locaux pourraient être érodés et voir leur superficie diminuée, mais de nouveaux processus d'accrétion pourraient compenser ces changements (Hill et al., 2013). Les inondations posent un grand danger pour la collectivité humaine. Quelque 35 000 résidents sont considérés comme étant très vulnérables aux inondations, de même qu'environ 9 400 hectares de terres agricoles (BC Agriculture and Food, 2013b) et des installations d'infrastructure majeures, y compris des terminaux maritimes (terminaux charbonniers et pour conteneurs du banc Roberts), les voies ferrées desservant ces terminaux et le terminal le plus achalandé de la BC Ferries, Tsawwassen.

Deux grandes routes en remblai franchissant le banc Roberts, un grand haut-fond sous-marin qui fournit un habitat au saumon pendant les premières étapes de sa vie, relèvent de la compétence de la Corporation de Delta. La première route en remblai assure un lien ferroviaire avec le plus important centre d'exportation de charbon du Canada—le terminal Westshore. La seconde route en remblai assure la connexion avec le terminal Tsawwassen de BC Ferries. La gare maritime gère environ 8 millions de voyages de passagers par an sur des itinéraires vers Victoria, Nanaimo et les îles Gulf. Ces routes en remblai et les installations de transport connexes, de même qu'un réseau de digues de protection et l'environnement bâti sublittoral, représentent l'infrastructure existante de Delta qui est le plus directement exposée aux menaces posées par l'élévation du niveau de la mer et les tempêtes. Les Tsawwassen Commons, un projet de développement commercial et résidentiel majeur situé entre les deux routes en remblai sur des terres appartenant à la Première nation

ÉTUDE DE CAS 5

CORPORATION DE DELTA : COMPOSER AVEC L'INCERTITUDE

(Angela Danyluk, agente principale en environnement, Corporation de Delta)

Delta est une collectivité côtière de faible altitude d'environ 100 000 personnes, située sur l'estuaire du fleuve Fraser (figure 12). Cette région écologiquement importante fait partie de la voie migratoire du Pacifique, une aire de conservation qui fournit un habitat à des millions d'oiseaux chanteurs, de sauvagines et de rapaces qui y passent l'hiver. Elle est constituée d'une grande zone intertidale, comprenant des terres humides, des herbiers de zostère et des terres agricoles, qui abrite des populations d'invertébrés marins et de saumon côtier (Hill et al., 2013), de même que la tourbière Burn's Bog, une zone protégée comprenant une rare tourbière haute qui revêt une grande importance écologique et culturelle.

Tsawwassen, est en construction et sera également à risque. Les vagues deviendront de plus en plus puissantes à mesure que l'élévation du niveau de la mer fera augmenter la profondeur de l'eau recouvrant le banc Roberts, exerçant un stress plus grand sur les infrastructures et les écosystèmes côtiers. La planification en prévision de ces impacts a été un processus coopératif auquel les intervenants locaux ont participé (Hill *et al.*, 2013).

Après les travaux visant à cerner les dangers physiques possibles posés par les changements climatiques (Hill *et al.*, 2013), la Corporation de Delta a conclu un partenariat avec la Collaborative for Advanced Landscape Planning (CALP) de l'Université de la Colombie-Britannique afin d'encourager l'engagement du public. En utilisant les prévisions locales des changements climatiques et les données actuelles sur l'utilisation des terres, la CALP a dressé une carte des changements physiques prévus (figure 13) et a produit des visualisations pour aider à déterminer les options d'adaptation, et ce en fonction d'un éventail de scénarios futurs (figure 14). Puisque les visualisations utilisaient des données locales, elles dressaient un portrait clair de l'éventail des impacts sociaux, environnementaux et économiques auxquels sont confrontées la collectivité et ses infrastructures. Le partage des résultats avec les employés et les citoyens a stimulé la discussion sur les valeurs

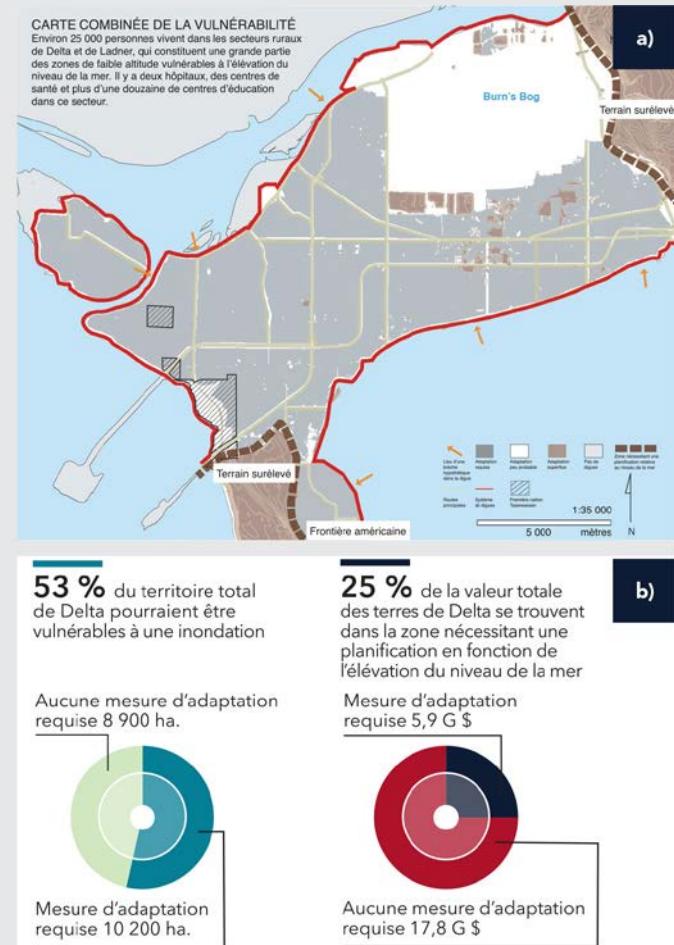


FIGURE 13 : Carte combinée de la vulnérabilité dans la Corporation de Delta (Barron *et al.*, 2012).

communautaires, les possibilités et les solutions en réponse aux impacts des changements climatiques, améliorant du même coup le degré de sensibilisation et le renforcement de la capacité.



FIGURE 14 : Modèles visuels des options d'adaptation possibles. Les images montrent Ladner (une partie de la Corporation de Delta) avec une digue et une riserbe plus grosses en 2100, étant donné une élévation du niveau de la mer (sea level rise) de 1,2 m. La digue a été renforcée en conséquence et les images montrent deux options de conception : **a**) un mur abrupt renforcé de béton qui maintiendrait l'emprise actuelle du chemin River, et **b**) une conception conventionnelle qui empiéterait sur la moitié de l'une des routes principales. Source : Corporation de Delta. Créeée par la Collaborative for Advanced Landscape Planning (CALP), Université de la Colombie-Britannique.

Grâce à la meilleure compréhension des effets possibles de l'évolution du climat démontrée par les autorités de la Corporation de Delta, cette dernière s'est fait choisir comme l'un de trois projets pilotes agricoles d'adaptation aux changements climatiques (BC Agriculture and Food, 2013a). En partenariat avec les agriculteurs, le gouvernement provincial et le gouvernement fédéral, la Corporation de Delta travaille maintenant à mettre en œuvre les mesures recommandées. Le personnel de la Corporation prépare également une stratégie d'adaptation (dans le cadre du programme Building Adaptive & Resilient Communities [BARC]

d'ICLEI Canada) afin de protéger la collectivité contre les dangers d'inondation, de promouvoir la résilience agricole, d'améliorer la résilience des zones naturelles et des forêts urbaines, et d'assurer la santé et la sécurité des résidents.

ÉTUDE DE CAS 6

VILLE DE GIBSONS : PLANIFICATION DE L'ADAPTATION EN COLLABORATION AVEC UNE UNIVERSITÉ

(Michael Epp, [ancien] directeur de la planification, Ville de Gibsons; [actuel] planificateur, Ville de North Vancouver)

Les résidents et dirigeants de Gibsons, une ville de 4 400 habitants située sur la Sunshine Coast de la Colombie-Britannique (figure 15), ont l'habitude de poser des gestes proactifs lorsqu'il s'agit d'aborder les enjeux environnementaux. Toutefois, lorsque la Ville a amorcé des conversations communautaires sur les changements climatiques en 2009, ces derniers étaient perçus comme étant d'importance secondaire par rapport à d'autres préoccupations telles les finances municipales, l'infrastructure et le développement. L'impact des phénomènes météorologiques extrêmes récents a depuis modifié cette perception. La grave sécheresse de l'été 2012 a menacé les réserves d'eau et une marée de vives-eaux (les marées les plus hautes de l'année, qui se produisent près des solstices d'hiver et d'été) inhabituellement haute en décembre de la même année ont poussé les gens à reconnaître que l'élévation du niveau de la mer constitue une préoccupation à trancher dans l'immédiat. La Ville a déterminé qu'au cours des prochaines décennies, les nouvelles constructions devront tenir compte du niveau futur de la mer et que l'infrastructure municipale devrait être déplacée là si cela s'impose.



FIGURE 15 : Le Port de Gibsons vu des airs (photo gracieuseté de la Ville de Gibsons).

En 2011, la Ville de Gibsons est devenue un partenaire communautaire dans le cadre d'un projet de l'University Community Research Alliance (Alliance de recherche universités-communautés) visant à faire progresser la planification de l'adaptation aux changements climatiques dans les collectivités côtières. En conséquence de ce partenariat, la Ville dispose maintenant d'un modèle de l'ampleur potentielle des inondations associées à l'élévation du niveau de la mer (figure 16). La combinaison des données sur les terres et les propriétés et des données LiDAR disponibles avec les estimations de l'élévation du niveau de la mer d'ici 2100 a permis d'établir un modèle de l'ampleur potentielle des inondations côtières et du coût des actifs endommagés. Les estimations des impacts financiers des inondations liées à l'élévation du niveau de la mer et aux marées de tempête commencent à 20 millions de dollars.

Dans le cadre de son processus de planification stratégique de 2013, la Ville a décidé d'entreprendre au cours des prochaines années une évaluation systématique du littoral. Les données recueillies tireront parti des modélisations fournies par leurs partenaires de recherche et aideront à analyser les options en matière d'adaptation (p. ex. localisation des endroits où des mesures de protection pourraient s'avérer nécessaires, où les pentes sont instables et où des plantes naturelles pourraient aider à réduire les risques). Un examen complet du plan communautaire officiel, dont l'objet est d'orienter le développement futur de la Ville, est en cours et a servi à créer une occasion d'intégrer de manière plus générale des politiques d'adaptation climatique précises dans la planification communautaire. Cela permet aux mesures d'adaptation d'être prises en considération au même titre que les analyses coûts/avantages et du cycle de vie sur les infrastructures, qui font partie de l'examen du plan communautaire officiel.

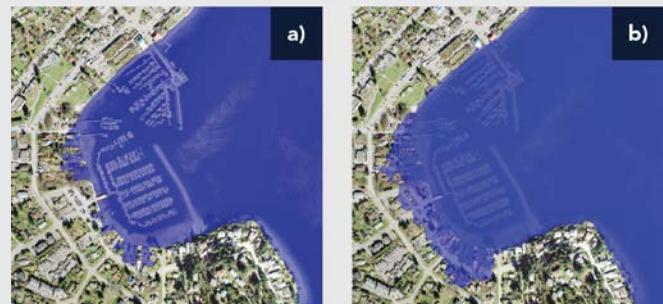


FIGURE 16 : Niveaux d'eau futurs prévus dans le port de Gibsons dans les conditions suivantes : **a)** élévation du niveau de la mer de 1 m et; **b)** élévation du niveau de la mer de 1 m (bleu foncé) et marée de tempête de 1,1 m (bleu pâle). La conduite d'égout principale de la ville est submergée dans les deux modèles, alors que trois îlots de propriétés à valeur élevée, une conduite de gaz et des installations de marina sont exposées aux effets des marées de tempête. (N. Vadeboncoeur, données non publiées, image de base de Google, 2015)

ÉTUDE DE CAS 7

QUALICUM BEACH : UNE APPROCHE DE L'ADAPTATION AXÉE SUR L'UTILISATION DES TERRES

(Luke Sales, directeur de la planification, Ville de Qualicum Beach)

Le front de mer joue un rôle important dans l'économie et l'identité sociale de la Ville de Qualicum Beach, située sur la côte orientale de l'île de Vancouver. Maintenir le caractère du front de mer de la Ville est une grande priorité. Historiquement, la Ville a adopté une approche réactive de la gestion des impacts des tempêtes dans la zone de balancement des marées, y compris la dégradation des écosystèmes, la perte de la plage, l'inondation du front de mer et les dommages subis par l'ouvrage longitudinal (figure 17). Cependant, Qualicum Beach en est maintenant à l'étape de la planification d'un Plan maître complet pour le front de mer qui comprendra la planification de l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer. Les travaux seront entrepris en deux étapes, la première visant à comprendre les aspects techniques et scientifiques du changement, et la seconde mettant l'accent sur la planification de la gestion du changement.

La première étape, achevée à la fin de 2014, consistait en une évaluation des conditions météorologiques, océanographiques et géomorphologiques locales et des processus dynamiques qui contrôlent la nature du front de mer de la ville. Cette analyse a fait la lumière sur les impacts précis des vagues, des tempêtes et des taux de transport des sédiments sur le littoral et sur le fait que différents secteurs du front de mer se comportent différemment.



FIGURE 17 : Promenade sur le front de mer de Qualicum Beach pendant une forte tempête hivernale en 2009 (photo gracieuseté de S. Tanner).

Par exemple, dans certains secteurs les sédiments se déplacent avec vigueur, entraînant une érosion rapide à certains endroits et s'accumulant ailleurs. Par contraste, le front de mer central (où sont concentrés les parcs et de nombreux services) présente très peu de signes d'érosion. Les résultats de la première analyse éclaireront la deuxième étape du projet, qui aidera à raffiner les approches de planification afin d'assurer un front de mer durable et résilient aux impacts des changements climatiques. Par exemple, la Ville envisage maintenant des approches « indirectes », notamment le renforcement graduel de son front de mer central au fil du temps comme mesure d'adaptation possible.

La deuxième étape du projet mettra l'accent sur la consultation publique et sur un examen détaillé des possibilités de restauration du littoral, d'utilisation des terres, de protection écologique, de tourisme, de construction d'infrastructures à l'intention des piétons et des cyclistes, de stationnement, d'élaboration de normes de conception, d'accès public et d'autres priorités communautaires. Les approches pluridisciplinaires de la planification côtière feront appel à des experts dans les domaines de la géomorphologie, de l'aménagement urbain et de la biologie côtière afin d'élaborer un plan complet dont l'objet sera d'assurer la durabilité de la collectivité.

Les buts du projet sont les suivants :

- améliorer auprès des intervenants la compréhension de l'écologie et des processus naturels intertidaux qui se manifestent à l'échelle locale
- cerner des stratégies afin de gérer l'interface intertidale sujette aux changements et minimiser les impacts cumulatifs sur le milieu côtier
- élaborer un plan maître complet pour le front de mer qui indique les stratégies et les mesures requises afin de s'adapter à l'élévation du niveau de la mer tout en maintenant les agréments
- élaborer des lignes directrices concernant les travaux sur le littoral qui peuvent être suivies par les propriétaires privés dans le cadre d'une approche intégrée de la gestion du littoral.

Même si le projet offre à la collectivité la possibilité d'améliorer le front de mer dans l'intérêt des générations futures, le processus sera sans doute empreint d'émotion et certains membres de la collectivité le perçoivent comme une menace pour les propriétaires d'habitations et de commerces sur le front de mer. Pendant la deuxième étape, la Ville lancera un dialogue à propos de ces préoccupations et évaluera la rétroaction de la collectivité sur l'éventail des options présentées.

ÉTUDE DE CAS 8

VILLE DE VANCOUVER : PRÉPARER UNE VILLE TRÈS DENSÉMENT PEUPLÉE À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

(*Tamsin Mills, [ancienne] planificatrice principale en durabilité, Ville de Vancouver*)

Depuis plus de 20 ans, la Ville de Vancouver est résolue à aborder la question des changements climatiques (Ville de Vancouver, 1990). Vancouver est confrontée à des risques considérables liés aux changements climatiques, et a récemment été classée 11^e ville au monde la plus menacée par l'élévation du niveau de la mer, en fonction de la valeur totale de ses actifs exposés (Hallegatte et al., 2013). Dotée de beaucoup de zones densément peuplées et de zones destinées à d'autres utilisations situées près de l'océan (figure 18), la Ville dispose d'options limitées pour réagir aux effets des changements climatiques. Les mesures d'adaptation comprendront probablement une combinaison de mesures de protection et d'instruments de planification urbaine, fondée sur une compréhension approfondie de la répartition spatiale des inondations potentielles.

En 2007, en grande partie pour répondre aux conclusions du Quatrième rapport d'évaluation du GIEC, le conseil municipal de Vancouver a adopté une motion visant à lancer un processus de planification de l'adaptation. Les premières étapes comprenaient une analyse des risques afin de cerner les secteurs prioritaires en matière d'adaptation, menant à un plan d'action climatique plus complet qui a été adopté à l'unanimité par le conseil en juillet 2012. Les premières mesures indiquées dans le plan d'action ont déjà



FIGURE 18 : La marée de vives-eaux du 17 décembre 2012, malgré l'absence de vagues, a provoqué une inondation localisée dans la Ville de Vancouver, inondant entre autres la piscine de Kitsilano (photo gracieuseté de la Ville de Vancouver).

été traitées et, au moment d'écrire ces lignes, la Ville procède à l'acquisition des données nécessaires pour mettre le plan en œuvre. Par exemple, des images LiDAR ont été recueillies au début de 2013 dans le but d'aider à cartographier le couvert végétal et les inondations côtières. Les cartes des inondations côtières ont depuis été intégrées dans un modèle montrant la superficie, la profondeur et le débit des inondations.

En 2013, Vancouver est devenue la première ville de Colombie-Britannique à officiellement tenir compte d'une élévation du niveau de la mer d'un mètre dans les exigences de développement et de planification. La Ville évalue actuellement un certain nombre d'autres options de planification du développement. En raison de sa situation centrale sur la côte le long de laquelle s'étend Metro Vancouver, l'adaptation à Vancouver est un processus particulièrement coopératif. Par exemple, la Ville travaille avec l'Administration portuaire Vancouver-Fraser, le Fraser Basin Council (un organisme non gouvernemental) et sa voisine, la Ville de Burnaby, à l'élaboration d'une stratégie de gestion des répercussions de l'élévation du niveau de la mer dans les plaines inondables partagées, qui comprendrait des mesures de protection côtières améliorées.

ÉTUDE DE CAS 9

VILLE DE WEST VANCOUVER : UN EXEMPLE D'ACCOMMODEMENT DE L'IMPACT DES VAGUES

(*David Youngson, directeur de la planification, Ville de West Vancouver*)

La croissance de West Vancouver, une collectivité de plus de 43 000 personnes, a entraîné l'urbanisation du bassin hydrographique et du front de mer, produisant un durcissement du littoral et une canalisation des cours d'eau. La perturbation des processus de sédimentation qui en découle a accru le transport des sédiments et diminué le taux de sédimentation. Par exemple, il n'est pas rare que l'érosion arrache des centaines de mètres cubes de sédiments des côtes locales au cours d'une seule pluie. Une telle érosion se traduit par des eaux sublittorales plus profondes et expose les infrastructures, les habitats sublittoraux et les plages de West Vancouver à des vagues d'une énergie accrue (figure 19). La Ville travaille à assurer un littoral stable qui tient compte de l'élévation prévue du niveau de la mer, protège les hautes terres et favorise la vie marine.

En 2005, le Comité consultatif technique de West Vancouver a préparé un cadre de planification à long terme du littoral. Plus tard, au cours de cette même année, la West Vancouver Shoreline Preservation Society (société de conservation du rivage de West Vancouver) a été créée. Ensemble, ces organismes ont servi de catalyseur grâce auquel plus de 30 années de recherches sur le littoral ont été transformées afin de créer un processus visant à



FIGURE 19 : Dommages causés par les vagues à l'ouvrage longitudinal de West Vancouver lors d'une tempête (photo gracieuseté de la West Vancouver Shoreline Preservation Society).

restaurer les plages du district. Le résultat, le *Shoreline Protection Plan* (plan de protection du littoral de 2012), est un document évolutif conçu pour répondre aux besoins écologiques et sociaux touchant le littoral, pour acheminer les ressources disponibles et pour saisir les occasions qui se présentent au profit de la zone intertidale.

La première mesure de ce plan était la création de neuf projets pilotes de protection du littoral à financement municipal, situés entre l'épi Capilano et la pointe Navvy Jack. Ces projets, dont l'ampleur, le coût et le point de mire variaient, partageaient le but principal d'améliorer les mesures de protection du littoral. Chaque projet comportait un éventail de stratégies de travaux maritimes et d'amélioration de l'habitat afin de restaurer les sites à un état plus naturel et d'offrir des mesures autosuffisantes de protection indirecte du littoral. Par exemple, un projet pilote ayant recours à l'ajout de blocs rocheux sublittoraux (situés juste sous la ligne de marée basse) a réduit l'érosion et le transport des sédiments tout en améliorant l'habitat (figure 20).

Avantages des travaux entrepris à ce jour :

- Naturalisation du littoral grâce à l'enlèvement de plus de 200 m d'ouvrages longitudinaux de béton;
- Amélioration de la biodiversité des zones riveraines, intertidales et sublittorales;
- Amélioration de l'accès aux ruisseaux pour le saumon;
- Rétablissement d'un habitat convenable pour l'éperlan argenté;
- Amélioration de l'accès public grâce à l'installation de ponts et de sentiers sublittoraux;
- Amélioration de la stabilité du littoral et de l'habitat littoral élevé grâce à l'accumulation de gros débris ligneux et de matière organique.

Cinq initiatives commanditées par le secteur privé ont par la suite tiré parti des projets pilotes et démontré le potentiel de gestion durable de l'ensemble des 30 km de front de mer de West Vancouver appartenant à des intérêts privés et publics. Les initiatives privées ont entraîné l'exécution de plus de 3 millions



FIGURE 20 : Les blocs rocheux submergés fournissent un habitat aux plantes et aux échinodermes tout en améliorant les frayères pour l'éperlan (photo gracieuseté de la West Vancouver Shoreline Preservation Society).

de dollars de travaux de restauration du littoral entre Dundarave et Horseshoe Bay. Ces travaux ont aidé à retenir les sédiments (diminuant ainsi la profondeur de l'eau et la puissance des vagues) de même qu'à réduire les impacts des vagues sur le littoral.

4.2.3 LEÇONS RETENUES

Le thème commun qui se dégage de ces études de cas est que les efforts de collaboration avec d'autres organismes ou des partenaires privés ont permis aux gouvernements locaux d'accomplir des progrès en matière de planification et de mise en œuvre de l'adaptation. Dans tous les cas, des partenaires externes ont aidé à appuyer l'adaptation et, dans le cas du District régional de la capitale, ils ont également aidé les gouvernements locaux membres à planifier en prévision du changement. Dans plusieurs études, des données indiquant l'échéancier des impacts prévus ont permis de tenir compte de l'adaptation au même titre que les analyses coûts/avantages existantes, comme dans le cas des calendriers d'entretien de l'infrastructure, et ont permis d'intégrer l'adaptation dans les processus stratégiques existants, tels les plans communautaires officiels.

Les mesures d'adaptation adoptées par chaque municipalité variaient en fonction des besoins particuliers de la municipalité et des effets prévus des changements climatiques sur les collectivités qui s'y trouvent. Comme l'a démontré l'étude de cas sur West Vancouver, les municipalités n'ont pas besoin d'avoir exclusivement recours aux digues pour assurer la protection de la côte. Des structures installées sous la surface de la mer dans les zones tidales peuvent aider à atténuer l'érosion en réduisant l'énergie des vagues atteignant la grève et en enrichissant l'habitat. Dans certains cas, la protection côtière à elle seule peut être insuffisante pour contrer les impacts des tempêtes qui rend encore plus prononcés l'élévation du niveau de la mer et, tel que cela s'est passé dans le cas de Vancouver, et des changements aux règlements de planification et de développement urbain, telle l'élaboration de mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation plus élevés, peuvent s'avérer nécessaires.

Les mesures d'adaptation visant à renforcer la résilience de la collectivité aux changements climatiques peuvent avoir un effet positif sur la société, les actifs et les écosystèmes locaux. L'adaptation peut aider au maintien des plages, à la protection de l'habitat existant et à la création de nouveaux habitats. Toutefois, la mise en œuvre de certaines mesures d'adaptation, comme un zonage restrictif et les marges de retrait côtières, peut présenter des défis aussi bien pour les collectivités que les particuliers. Puisque les effets de l'adaptation de la côte aux changements climatiques peuvent être considérables, la consultation publique est un élément important de la planification de l'adaptation et permet de s'assurer que les changements sont apportés de manière opportune et contrôlée, tout en respectant les besoins des intervenants. Lorsque les mesures d'adaptation sont appliquées en réaction à des catastrophes locales (p. ex. tempête majeure), la modification souvent soudaine de l'utilisation locale des terres peut être difficile à accepter pour les membres d'une collectivité touchés.

Les collectivités de la côte ont accès à diverses sources d'information sur les effets des changements climatiques sur les régions côtières de même qu'à un éventail de partenaires possibles avec lesquels elles peuvent travailler à l'élaboration de réponses efficaces en matière d'adaptation (encadré 3). Jusqu'à maintenant, la très grande majorité des réponses vise à réduire le risque d'inondation côtière découlant de l'élévation du niveau de la mer et des marées de tempête. À mesure que les municipalités reconnaissent la nécessité d'une adaptation au climat, des partenariats entre les gouvernements locaux et des partenaires externes pourront aider à cerner et à gérer d'autres risques climatiques pour les collectivités côtières.

4.3 INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT

À titre de « porte d'entrée vers le Pacifique » du Canada, la Colombie-Britannique possède plusieurs installations d'importance nationale, comme l'Aéroport international de Vancouver (YVR) et des ports de transbordement maritime majeurs (p. ex., Port Metro Vancouver et ports de Kitimat et de Prince Rupert). C'est également dans les zones côtières que se concentrent les liens économiques et sociaux importants pour la région, y compris les services de traversier vers de petites collectivités, un lien routier majeur vers les petites collectivités de la côte nord (autoroute 16) et un éventail de plus petits aéroports terrestres et maritimes. La présente section examine les risques potentiels que peuvent courir ces infrastructures en conséquence des changements climatiques.

4.3.1 AÉROPORTS

Des 78 aéroports de la Colombie-Britannique qui possèdent un code de l'Association du transport aérien international, cinq sont exposés à un risque d'inondation accru découlant de l'élévation du niveau de la mer et des marées de tempêtes du fait de leur faible altitude (moins de 5 m au-dessus du niveau de la mer). Il s'agit de l'Aéroport international de Vancouver, de trois aéroports régionaux (Boundary Bay, Pitt Meadows et Masset) et d'une bande d'atterrissement de loisir (Courtenay). L'Aéroport international de Vancouver joue un rôle primordial au niveau de l'économie régionale (étude de cas 10), alors que les autres aéroports contribuent considérablement aux économies locales. Partout en Colombie-Britannique, les aéroports maritimes assurent un lien important pour de nombreuses collectivités rurales côtières et complètent les autres modes de transport vers les villes importantes comme Vancouver et Victoria.

ENCADRÉ 3

RESSOURCES SUPPLÉMENTAIRES À L'INTENTION DES COLLECTIVITÉS

S'adapter aux changements climatiques : une introduction à l'intention des municipalités canadiennes :

<https://www.rncan.gc.ca/environnement/ressources/publications/impacts-adaptation/rapports/municipalites/100809>

Agricultural Adaptation in Delta (en anglais seulement) :

<http://www.delta.ca/environment-sustainability/climate-action/adapting-to-change>

BC Agriculture and Food Climate Action Initiative (en anglais seulement) :

<http://www.bcgclimateaction.ca/>

BC Real Estate Association (BCREA) Flood Protection (en anglais seulement) :

www.bcrea.bc.ca/government-relations/flood-protection

BC Sea-level Rise Adaptation Primer (en anglais seulement) :

http://www.civicinfo.bc.ca/Library/Reports_and_Briefs/Sea_Level_Rise_Adaptation--Climate%20Action%20Secretariat%20-2013.pdf

Collaborative for Advanced Landscape Planning (CALP) (en anglais seulement) :

<http://calp.forestry.ubc.ca/>

ICLEI Canada Adaptation Framework (en anglais seulement) :

<http://www.icleicanada.org/programs/adaptation/barc>

Joint Program Committee for Integrated Flood Hazard Management (en anglais seulement) :

www.fraserbasin.bc.ca/water_flood_projects.html

Pacific Institute for Climate Solutions (PICS) (en anglais seulement) :

<http://pics.uvic.ca/>

Pacific Climate Impacts Consortium Plan2Adapt Tool (en anglais seulement) :

<http://www.pacificclimate.org/analysis-tools/plan2adapt>

Stewardship Centre of BC Green Shores Program (Sea-level Rise Accommodation) (en anglais seulement) :

www.stewardshipcentrebc.ca/greenshores

ÉTUDE DE CAS 10

ADMINISTRATION DE L'AÉROPORT DE VANCOUVER

L'Aéroport international de Vancouver est le plus gros centre de transport aérien de la côte Ouest du Canada et occupe le second rang parmi les aéroports les plus achalandés du Canada; environ 17 millions de passagers y transitent chaque année grâce à près de 300 000 déplacements d'aéronefs. L'exploitation de l'aéroport entretient quelque 24 000 emplois à Metro Vancouver, génère 5,3 milliards de dollars de produit intérieur brut total et apporte une contribution de 11,7 milliards de dollars en extrants économiques totaux. L'aéroport lui-même est situé sur Sea Island, qui se trouve à la limite occidentale de Metro Vancouver, entre les villes de Vancouver et de Richmond. Certaines parties de l'aéroport se trouvent près du niveau de la mer actuel et font partie de la plaine inondable du fleuve Fraser (figure 21). En conséquence, l'aéroport est exposé aux dangers associés à l'élévation du niveau de la mer, aux marées de tempêtes et aux fortes précipitations. La majeure partie de l'environnement bâti, comme les voies de circulation, les pistes, les routes et les bâtiments, est située au-dessus des niveaux d'inondation actuels, mais une grande partie des terres non bâties, comme les entrepistes herbeuses entre les voies de circulation et les pistes, sont basses et susceptibles d'être inondées lors des grosses tempêtes de pluie.

L'Administration de l'aéroport de Vancouver gère des digues de protection contre les inondations sur l'île Sea et travaille à en augmenter graduellement la hauteur. L'Administration de l'aéroport et la Ville de Richmond sont chacune en charge d'une section du système de digues de l'île Sea et, grâce à de solides relations de travail, se tiennent mutuellement au courant de leurs plans respectifs d'entretien des digues afin de permettre une gestion coopérative du risque d'inondation de l'île Sea. Il existe un programme visant à augmenter la hauteur des digues originales (construites entre 1930 et 1940), qui relève maintenant de l'Administration de l'aéroport de Vancouver, jusqu'à une hauteur de crête de 4 m pour mieux composer avec les conditions océaniques futures. L'Administration de l'aéroport reconnaît qu'une hauteur de digue de 4 m fournira une protection insuffisante pour



FIGURE 21 : Aéroport international de Vancouver vu des airs (photo gracieuseté de l'Administration de l'aéroport de Vancouver).

l'année 2100 et a décidé de mettre sur pied une initiative de rénovation systématique en vue d'aider à répartir les coûts dans le temps et de pouvoir répondre aux prévisions du niveau de la mer qui ne cessent de changer. D'après les prévisions actuelles de l'élévation du niveau de la mer d'ici 2100, le niveau d'inondation potentiel pour l'aéroport de Vancouver est de 4,9 m et le niveau de crête requis estimé est de 7,9 m (Delcan, 2012), ce qui indique que des mises à niveau majeures du système de digues de l'île Sea seront nécessaires. On fait également remarquer que même s'il sera relativement aisé d'apporter ces changements dans la majeure partie du système de digues de l'île Sea, l'utilisation actuelle des terres en certains endroits rendra l'amélioration des digues difficile.

En plus d'entretenir un réseau de digues, l'Administration de l'aéroport de Vancouver entretient également un système de gestion des eaux de pluie qui évacue l'eau accumulée vers le fleuve Fraser par gravité à marée basse et à l'aide de pompes pendant le reste du cycle de la marée. À mesure que le niveau de la mer s'élèvera, le potentiel de drainage par gravité diminuera, ce qui entraînera des coûts supplémentaires au niveau de l'infrastructure de pompage et de l'entretien des pompes.

4.3.2 INFRASTRUCTURE À L'INTÉRIEUR ET PRÈS DES PORTS

La Colombie-Britannique permet d'exploiter d'importants terminaux de transport de marchandises de même qu'une industrie d'exportation de l'énergie en pleine croissance. Ses quelque 135 ports publics et privés assurent un lien commercial de grande importance stratégique par rapport au marché international et facilitent environ 95 % du commerce international dans la province. Le système portuaire a aidé à diversifier les marchés d'exportation de la Colombie-Britannique et du Canada en réponse aux changements économiques mondiaux. Par exemple, la proportion d'exportations de la Colombie-Britannique à destination des États-Unis a chuté de quelque 70 % en 2001 à 44 % en 2012 (BC Stats, 2013c).

Les installations actuelles d'infrastructures majeures comprennent par exemple le pipeline Trans-Mountain, les terminaux Westridge Marine et Burnaby ainsi que les terminaux charbonniers du banc Roberts (Port Metro Vancouver) et de Prince Rupert (Ridley Terminals Inc.). Plusieurs terminaux d'exportation de gaz naturel liquéfié font l'objet d'études dans les régions de Prince Rupert et de Kitimat. Actuellement, les infrastructures énergétiques existantes et prévues le long de la côte de la Colombie-Britannique sont évaluées à plus de 100 milliards de dollars.

Les deux ports principaux sont le Port Metro Vancouver et le Port de Kitimat. Chacun d'eux doit relever des défis posés par les changements climatiques. Même si la seule élévation du niveau de la mer a peu de chances de présenter des difficultés directes pour les infrastructures des deux principaux ports de la Colombie-Britannique d'ici 2100, les impacts connexes, comme les taux

changeants de transport des sédiments autour des infrastructures portuaires, pourraient être pris en considération dans la planification opérationnelle (p. ex. Hill *et al.*, 2013). Le Port Metro Vancouver (étude de cas 11) travaille déjà avec les collectivités voisines à cerner les vulnérabilités et à dresser des plans d'adaptation (p. ex. examen de la vulnérabilité des digues à la limite de la Ville de Vancouver). Toutefois, les nombreuses compétences avec lesquelles le port doit traiter (c.-à-d. 17 autorités chargées des digues et responsables de l'entretien et de l'amélioration des ouvrages de protection) créent des complications à l'égard du potentiel d'adaptation et du moment auquel on aurait recours aux mesures d'adaptation.

ÉTUDE DE CAS 11

PORT METRO VANCOUVER

Le Port Metro Vancouver est un élément central de l'économie de la Colombie-Britannique et apporte des avantages supplémentaires considérables à l'échelle nationale (tableaux 4 et 5). Il relie plus de 160 pays à partir de ses 28 terminaux maritimes principaux à partir desquels 130 millions de tonnes de fret circulent chaque année. Il s'agit du port le plus achalandé du Canada, le quatrième port le plus achalandé en Amérique du Nord et le port le plus diversifié du continent, offrant des services pour répondre à un éventail de besoins, allant du transport de marchandises en vrac et de marchandises générales² aux navires de croisière. Les terres du port comprennent plus de 600 km de littoral et de berges bordant 16 municipalités et une Première nation signataire d'un traité, et croisant sept autres territoires traditionnels.

Le Port Metro Vancouver tient compte de l'élévation du niveau de la mer un projet à la fois et juge, d'après les estimations actuelles de l'élévation du niveau de la mer, que ses terminaux sont suffisamment élevés pour éviter l'inondation. Toutefois, il n'y a eu jusqu'à maintenant aucune caractérisation complète de l'exposition des installations portuaires à l'élévation du niveau de la mer. L'infrastructure portuaire terrestre peut être vulnérable si les digues des municipalités longeant les installations portuaires ne sont pas mises au niveau d'une norme convenable. Même si d'importants progrès ont été réalisés en matière d'adaptation dans la Ville de Vancouver et la Corporation de Delta (section 4.2.2), une évaluation complète des risques est impossible jusqu'à ce que l'ensemble des 17 autorités voisines en charge des digues publient des plans d'adaptation plus détaillés. Cela découle à la fois de la nécessité de disposer d'une stratégie coordonnée de protection contre les inondations et de l'effet que les mesures directes de prévention des inondations peut avoir sur les processus de transport des sédiments.

² Les marchandises générales sont des marchandises qui doivent être chargées individuellement dans les soutes d'un navire. Les marchandises peuvent être emballées dans des sacs, des cartons, des caisses, des fûts ou des barils ou encore être mises en balles et placées sur des palettes. Les marchandises diverses habituelles comprennent le papier, les sciages, l'acier et la machinerie (Port Metro Vancouver, 2013).

TABLEAU 4 : Avantages économiques du Port Metro Vancouver (Intervistas Consulting Inc., 2009).

Compétence	Contribution au PIB (en milliards de \$, estimation)	Rendement économique total (en milliards de \$, estimation)	Salaires totaux (en milliards de \$, estimation)	Nombre d'emplois
Colombie-Britannique (impact direct)	4,1	9,8	2,2	47 000
Colombie-Britannique (impact indirect et effets induits)	3,8	7,3	2,6	58 400
Canada (excluant la C.-B.)	2,6	4,9	1,3	23 400
Canada (total)	10,5	22	6,1	129 500

TABLEAU 5 : Recettes fiscales du Port Metro Vancouver (Intervistas Consulting Inc., 2009).

Compétence	Recettes fiscales annuelles (en millions de \$, estimation)
Fédérale	648
Provinciale	417
Municipale	157
Total	1 222

Les changements climatiques peuvent avoir un impact sur les activités dans d'autres ports plus modestes partout dans la province. La fréquence ou l'ampleur accrue des tempêtes (voir le chapitre 2) pourrait avoir un impact sur la marine marchande, mais les renseignements dont on dispose sont insuffisants pour permettre de tirer des conclusions sur la vulnérabilité individuelle ou collective des petits ports aux changements climatiques.

4.3.3 ROUTES

Même si la plupart des routes côtières en Colombie-Britannique sont situées à une altitude supérieure aux élévations prévues du niveau de la mer et des inondations causées par les marées de tempête, les données sur l'élévation et les données LiDAR disponibles semblent indiquer que certaines parties des routes provinciales pourraient être vulnérables (figure 22; BC Ministry of Transport and Infrastructure et Nodelcorp Consulting Inc., 2011). Les impacts des vagues de tempête pourraient poser d'importants défis pour certaines sections de route, mais l'évaluation de ces vulnérabilités exigera que chaque site soit individuellement soumis à sa propre évaluation. L'inondation des



FIGURE 22 : Sections des routes provinciales côtières que l'on juge menacées par l'élévation du niveau de la mer (extrait modifié tiré de D. Nyland).

routes par les marées de tempête et les vagues de tempête peut entraîner la perte soudaine et temporaire de ce qui est souvent le seul lien rapide et à grande capacité entre les collectivités côtières (étude de cas 12). Certaines routes situées près du niveau de la mer ont été protégées par une série de digues (p. ex. dans la Corporation de Delta; section 4.2.2).

ÉTUDE DE CAS 12

AUTORROUTE SUNSHINE COAST À LA BAIE DAVIS

Une section de l'autoroute Sunshine Coast à la baie Davis connaît actuellement des fermetures périodiques en raison d'inondations causées par des marées de tempête (figure 23; Vadeboncoeur, 2014). Pour les résidents vivant à l'ouest de la baie Davis (environ 20 000 personnes), la fermeture de cette route bloque l'accès à la gare maritime de Langdale, le seul point d'accès



FIGURE 23 : Marée de tempête sur l'autoroute Sunshine Coast (route 101) à la baie Davis, le 6 février 2006 (photo gracieuseté de B. Oakford).

par automobile vers Vancouver. Pour les résidents situés du côté est de la ville (environ 10 000 personnes), l'accès à l'hôpital régional se trouve bloqué.

L'élévation du niveau de la mer amplifiera l'impact des tempêtes et pourrait provoquer une érosion et des dommages structurels considérables à la route aussi bien qu'aux lignes électriques et aux conduites de gaz qui la longent. Une marée de tempête d'un mètre conjuguée à une élévation du niveau de la mer d'un mètre ferait monter les niveaux d'eau à près d'un mètre au-dessus de la route existante, ce qui entraînerait une grosse inondation dans la région avoisinante (figure 24). Afin de réagir à ce risque croissant d'inondation, le District régional de Sunshine Coast, en collaboration avec la province, envisage de déplacer cette section d'autoroute au moyen d'une nouvelle connexion à une route existante rénovée située à une altitude plus élevée.

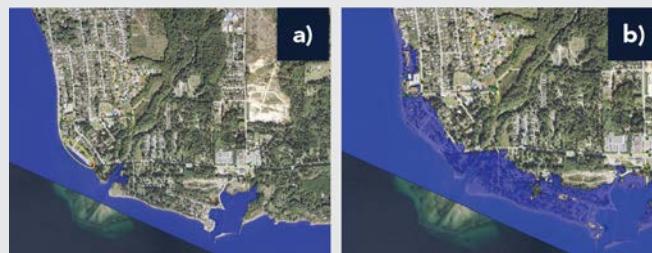


FIGURE 24 : Hauteur de la surface de la mer (en mauve) sur l'autoroute Sunshine Coast (autoroute 101) à la baie Davis pendant **a)** la marée de tempête de février 2006 et pendant **b)** une marée de tempête d'un mètre conjuguée à une élévation du niveau de la mer d'un mètre. (N. Vadeboncoeur, données non publiées, image de base de Google, 2015)

4.3.4 BC FERRIES

Les services de traversiers à passagers exploités par la BC Ferries transportent plus de 20 millions de personnes chaque année vers 49 gares maritimes sur 40 circuits. Beaucoup de gares maritimes sont situées dans des baies abritées alors que certaines sont modérément exposées au vent et aux vagues. Toutefois, la principale gare maritime de Tsawwassen, qui assure la liaison entre les basses terres continentales et le sud de l'île de Vancouver ainsi que les îles Gulf (c.-à-d. Victoria, Nanaimo), est située à un endroit très exposé au détroit de Georgia.

L'élévation du niveau de la mer et l'exposition accrue aux tempêtes présente des défis au niveau de l'infrastructure de la gare maritime, y compris les quais et les routes d'accès. Les retards et les annulations d'appareillage liées à la météo sont relativement rares en Colombie-Britannique, touchant environ 0,5 % de tous les trajets (BC Ferries, 2013). Même si les changements climatiques accroissent le risque de retards, il est peu probable que cela ait un impact sensible pour le Britannico-Colombien moyen puisque la météo ne compte que pour 6 % de tous les retards et toutes les annulations (BC Ferries, 2013). L'augmentation de l'activité orageuse peut poser des défis pour les collectivités éloignées qui dépendent du service de traversier pour obtenir de la nourriture et des fournitures si un service relativement peu fréquent (p. ex. hebdomadaire) est interrompu.

5 PLANIFICATION DE L'ADAPTATION

Les approches réactives dominent généralement les réactions à l'évolution des conditions environnementales en Colombie-Britannique (Walker et Sydneysmith, 2008). Il semble cependant que les attitudes commencent à changer. Plusieurs gouvernements locaux ont commencé à planifier en vue de gérer de manière proactive l'élévation du niveau de la mer (section 4.2.2). Même si l'adaptation est une responsabilité partagée par tous les ordres de gouvernement, l'industrie, les organismes non gouvernementaux et la société civile (p. ex. Bizikova et al., 2008), les gouvernements locaux ont un rôle particulièrement important à jouer en ce qui concerne l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer le long de la côte pacifique du Canada. Une loi promulguée en 2004 place la construction et l'entretien des digues littorales et la désignation des plaines inondables sous compétence municipale. En conséquence, il y a maintenant près de 100 autorités chargées des digues en Colombie-Britannique, et chaque municipalité est en grande partie responsable de sa propre adaptation aux dangers posés par l'océan.

La mise à jour des politiques de gestion des risques des gouvernements locaux de la Colombie-Britannique est une mesure qui pourrait aider à améliorer la capacité de résilience au climat (Swanson et Bhadwal, 2009). Toutefois, comme on l'a observé partout au Canada, cette approche peut être limitée par la capacité des gouvernements locaux d'entreprendre des mesures d'adaptation et par leur aptitude à mettre réellement en œuvre les mesures proposées en vue d'améliorer la résilience (p. ex. Burch, 2010).

Des travaux considérables visant à faire progresser l'adaptation en Colombie-Britannique ont fourni aux décideurs municipaux des sources d'information sur les impacts potentiels liés à l'évolution du climat (p. ex. Burch et Robinson, 2007; Harford, 2008; Burch et al., 2010; Ausenco Sandwell, 2011b, c; Delcan, 2012; Forseth, 2012; Arlington Group Planning et al., 2013; Hill et al., 2013). Toutefois, l'adaptation municipale aux changements climatiques demeure une nouveauté relative, et plusieurs enjeux apportant des complications et couramment soulevés par les gouvernements locaux n'ont pas encore été entièrement réglés. Ces enjeux comprennent la nécessité d'établir une collaboration institutionnelle multilatérales en matière d'adaptation (c.-à-d. la province, les gouvernements locaux et les Premières nations), la disponibilité de renseignements sur les impacts locaux de même que les répercussions juridiques de la prise de mesures. Les sections suivantes résument ces préoccupations.

5.1 ÉVOLUTION DES POLITIQUES EN MATIÈRE D'INONDATIONS CÔTIÈRES ET DE L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

Les politiques existantes en matière d'inondations en Colombie-Britannique ont principalement été conçues pour composer avec les inondations liées à la fonte des neiges

printanière dans les rivières et avec les marées de tempête océaniques. Ces politiques présument que le moment et l'ampleur des inondations riveraines de même que la hauteur des inondations futures causées par des marées de tempête demeureront conformes aux données historiques enregistrées. Toutefois, ces présomptions de stabilité climatique ne sont plus appropriées et les politiques sont par conséquent sujettes à révision. La nature des changements futurs dans les inondations riveraines aussi bien que côtières varie, parfois considérablement, d'un endroit à l'autre de la côte britanno-colombienne. Par exemple, dans les régimes dominés par les pluies, on s'attend à ce que l'écoulement fluvial diminue dans le sud de la côte, mais augmente dans le nord (section 2.3). L'ampleur des inondations causées par des marées de tempête augmentera elle aussi en conséquence de l'élévation du niveau de la mer; de récentes analyses permettent de calculer le changement d'élévation requis afin de maintenir la fréquence d'inondation actuelle (Zhai et al., 2014). L'élévation du niveau de la mer se traduit par des vagues plus grosses et plus puissantes qui atteignent les côtes et sont susceptibles de déborder par-dessus des digues et d'augmenter l'érosion (comme dans le cas de la Corporation de Delta; Shaw et al., 2006).

Les gouvernements locaux de la Colombie-Britannique jouissent d'une pleine autonomie dans la planification de l'utilisation des terres relevant de leur compétence, y compris leur aptitude à gérer l'utilisation des terres et approuver des projets d'aménagement dans les zones inondables, à désigner les plaines inondables et à établir les exigences de construction (tableau 6). La *Local Government Act* (Loi sur les gouvernements locaux) leur accorde ce pouvoir et permet aux gouvernements locaux d'utiliser une variété d'outils stratégiques, comme les plans communautaires officiels, les règlements, les permis de développement, les permis de construction et les restrictions de zonage, afin de planifier l'adaptation (p. ex. Richardson et Otero, 2012). Les mesures possibles de gestion intégrée du danger d'inondation en Colombie-Britannique (tableau 6) sont décrites ci-après.

5.1.1 UTILISATION DES TERRES

Les gouvernements locaux contrôlent l'utilisation des terres et l'octroi des permis de construction dans les zones inondables par l'entremise des règlements de zonage. Les gouvernements locaux peuvent imposer des exigences de construction (comme les mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation), et ne s'en privent pas. Récemment mises à jour, les lignes directrices de la Colombie-Britannique en matière de mise en valeur de zones de risque d'inondation indiquent clairement la nécessité d'établir des mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation conformes au risque accru posé par l'élévation du niveau de la mer (Ausenco Sandwell, 2011b). De nombreuses municipalités dans l'ensemble de la province (p. ex. Ville de Vancouver) révisent leurs exigences relatives aux nouveaux bâtiments. Toutefois, les bâtiments existants continuent d'être menacés par les inondations. Des solutions pour atténuer le risque d'inondation faisant appel à la fois au zonage et à l'octroi de permis font actuellement l'objet d'études partout dans la région côtière (section 5.1.2).

TABLEAU 6 : Aperçu des responsabilités et des politiques relatives aux inondations en Colombie-Britannique.

Compétence	Utilisation des terres	Protection contre les inondations	Intervention et rétablissement en cas d'inondation
Fédérale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parcs nationaux ▪ Réserves indiennes ▪ Sites du Ministère de la Défense nationale 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Financement de l'infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aide financière en cas de catastrophe ▪ Gestion des urgences*
Provinciale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Terres de la Couronne ▪ Approbation des subdivisions à l'extérieur des municipalités ▪ Lignes directrices en matière de retrait et de construction ▪ Mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Approbation des ouvrages municipaux de protection contre les inondations ▪ Lignes directrices techniques à l'intention des municipalités ▪ Financement de l'infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aide financière en cas de catastrophe ▪ Gestion des urgences
Locale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planification de l'utilisation des terres et zonage municipaux ▪ Approbation des subdivisions internes ▪ Mise en œuvre des retraits de construction ▪ Mise en œuvre des mesures en matière de construction au-dessus du niveau d'inondation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construction et gestion des ouvrages de protection ▪ Financement de l'infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestion des urgences

* Il ne s'agit pas d'une responsabilité fédérale normale, mais cet ordre de gouvernement a fourni un soutien par l'entremise des Forces armées dans les cas extrêmes.

5.1.2 PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

Les lignes directrices provinciales sur la gestion des dangers d'inondation côtière sont actuellement décrites dans le document *Climate Change Adaption Guidelines for Sea Dikes and Coastal Flood Hazard Land Use* (lignes directrices relatives aux digues à la mer et à l'utilisation des terres sujettes au danger d'inondation côtière en fonction de l'adaptation aux changements climatiques), qui présente trois composantes : 1) *Sea Dike Guidelines* (Ausenco Sandwell, 2011c), 2) *Guidelines for Management of Coastal Flood Hazard Land Use* (Ausenco Sandwell, 2011b) et 3) *Draft Policy Discussion Paper* (Ausenco Sandwell, 2011a).

- Les *Sea Dike Guidelines* (lignes directrices sur les digues à la mer) fournissent des directives en matière de conception de digues de protection pour les terres de faible altitude exposées aux dangers d'inondation côtière. Elles recommandent que la hauteur des digues, des ouvrages longitudinaux et des niveaux de construction désignés pour les inondations touchant les bâtiments soit révisée de manière à tenir compte d'une élévation du niveau de la mer de 0,5 m d'ici l'an 2050, 1,0 m d'ici l'an 2100 et 2,0 m d'ici l'an 2200 (Ausenco Sandwell, 2011c).
- Les *Guidelines for Management of Coastal Flood Hazard Land Use* (lignes directrices relatives à la gestion de l'utilisation des terres sujettes au danger d'inondation côtière) appuient l'élaboration et la mise en œuvre par les gouvernements locaux de plans de gestion de l'utilisation des terres ainsi que de plans et de processus d'approbation des subdivisions dans les régions exposées à des dangers d'inondation côtière, et fournissent une liste d'outils de gestion de l'utilisation des terres (Ausenco Sandwell, 2011b).

- Le *Draft Policy Discussion Paper* (document de discussion sur l'ébauche de politique) est une tentative de combler l'écart entre la science et l'application pratique des mesures visant à contrer les effets des changements climatiques sur la côte de la Colombie-Britannique (Ausenco Sandwell, 2011a).

Ces travaux constituent la première étape vers une mise à jour des lignes directrices de 2004 publiées en vertu de l'*Environmental Management Act* (Loi sur la gestion de l'environnement). Depuis la publication de ces rapports, le Ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique consulte les intervenants et l'*Union of British Columbia Municipalities* (Union des municipalités de la Colombie-Britannique) au sujet de leur mise en œuvre. Il est important de remarquer que, même si l'élévation maximale probable du niveau de la mer d'ici 2100 présentée dans ce rapport est moindre que l'estimation d'un mètre citée dans les lignes directrices provinciales sur l'adaptation aux changements climatiques, les lignes directrices offrent une marge de sécurité qui tient compte d'une élévation supplémentaire possible du niveau de la mer découlant de facteurs auxquels sont liés une grande incertitude, comme les contributions de l'inlandsis de l'Antarctique.

Même si une amélioration de l'infrastructure des digues sera probablement nécessaire afin d'assurer la protection de nombreuses résidences, de nombreux bâtiments commerciaux et institutionnels et de nombreuses infrastructures publiques (p. ex. Delcan, 2012), des approches de protection indirecte peuvent s'avérer plus efficaces et moins coûteuses dans certains cas que les mesures de protection directes. Certaines collectivités ont déjà commencé à mettre en œuvre ces approches de remplacement, avec succès (p. ex. North Vancouver, section 4.2.2).

5.1.3 REPRISE APRÈS CATASTROPHE

Le reprise après une catastrophe peut, dans certaines situations, offrir la possibilité de mettre en œuvre des mesures d'adaptation dans le cadre du processus de reconstruction. Le Disaster Financial Assistance Program (programme d'aide financière en cas de catastrophe) d'Emergency Management BC peut financer 80 % des dommages admissibles (non assurés) subis lors d'une catastrophe, jusqu'à concurrence de 300 000 dollars pour les propriétaires fonciers, les résidents, les propriétaires de petites entreprises, les propriétaires agricoles et les organismes de bienfaisance. Une aide supplémentaire en cas de catastrophe pour les gouvernements locaux peut être offerte, cas par cas, par les paliers provincial et fédéral. Compte tenu du niveau actuel d'exposition aux inondations dans la province, il est probable que les particuliers propriétaires, de même que tous les ordres de gouvernement, subiront des coûts croissants du fait des inondations.

Le financement de l'infrastructure est un facteur important facilitant l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer. Les gouvernements fédéral et provincial ont, par le passé, conclu des partenariats pour financer des projets d'infrastructure offrant une protection contre les inondations à des collectivités de toute la Colombie-Britannique. Le Provincial Flood Protection Program (programme provincial de protection contre les inondations) et la catégorie intitulée « Infrastructures servant à l'atténuation des catastrophes » du nouveau Plan Chantiers Canada fédéral en sont de bons exemples. En Colombie-Britannique, le programme provincial de protection contre les inondations finance les projets d'infrastructure en fonction des demandes reçues des gouvernements locaux et, dans le passé, le financement de certains projets a été partagé également entre les gouvernements fédéral, provincial et locaux. Les collectivités de la Colombie-Britannique peuvent également avoir accès à du financement pour les infrastructures par l'intermédiaire du Fonds fédéral de la taxe sur l'essence, des services publics britanno-colombiens et d'organismes non gouvernementaux comme la Community Energy Association, BC Hydro et le BC Stewardship Council.

5.2 PERSPECTIVES COMMUNAUTAIRES

De récentes études et des conversations avec des fonctionnaires des gouvernements locaux couvrant toute la côte de la Colombie-Britannique ont révélé plusieurs préoccupations concernant l'élaboration et la mise en œuvre de mesures d'adaptation aux changements climatiques (p. ex. Burch, 2010; Burch *et al.*, 2010; Vadeboncoeur et Carlson, travaux en cours). Les préoccupations exprimées comprennent l'absence perçue de renseignements précis sur les impacts locaux du climat, le manque de capacité d'élaboration et de mise en œuvre de stratégies d'adaptation de même que les conséquences juridiques et politiques potentiellement négatives tant de l'action que de l'inaction. Ces préoccupations sont décrites ci-après.

5.2.1 BESOINS EN MATIÈRE DE DONNÉES LOCALES

L'élévation du niveau de la mer est un facteur qui n'a pas encore été intégrée dans de nombreuses cartes des plaines inondables et activités de planification existantes. Cette omission s'explique aussi bien par le peu de disponibilité des données que par la faible capacité d'analyse des données des gouvernements locaux. Par exemple, environ 25 % des collectivités côtières de la Colombie-Britannique n'ont pas accès à des données LiDAR pour effectuer une cartographie détaillée des inondations et un peu plus de la moitié (54 %) des collectivités ayant accès à des données géospatiales numériques (LiDAR ou orthophotographie) n'ont pas utilisé ces données aux fins de planification (Vadeboncoeur, 2015). La plupart de la population des côtes de la Colombie-Britannique (75 %) vit dans une zone où des données LiDAR sont disponibles, mais cette proportion est divisée asymétriquement entre Metro Vancouver et le District régional de la capitale (couverture à 98,8 %, en termes de population) et le reste des côtes (couverture à 39,1 %, en termes de population; Vadeboncoeur, 2015). Malgré les lignes directrices provinciales qui recommandent de s'adapter à une élévation du niveau de la mer d'un mètre d'ici l'an 2100 et de 2 m d'ici 2200, certains gouvernements locaux ont retardé la planification de l'adaptation jusqu'à ce que des renseignements plus détaillés soient disponibles sur l'ampleur locale prévue de l'élévation du niveau de la mer dans leur collectivité. De nouvelles données sur l'augmentation régionale du niveau de la mer (section 2.3 et voir le chapitre 2; James *et al.*, 2014) fournissent aux collectivités des estimations actualisées des changements locaux à long terme dans le niveau de la mer et ces dernières peuvent servir à prévoir les changements au niveau des possibilités d'inondations. Les régions côtières qui ne disposent pas de renseignements topographiques détaillés, comme des données LiDAR, pourraient profiter de nouveaux levés.

Les gouvernements locaux ont également exprimé des préoccupations quant aux impacts potentiels des fortes précipitations. On se préoccupe entre autres du besoin de données locales améliorées sur les précipitations intenses de même que sur les facteurs pouvant avoir un effet sur la stabilité des pentes et le potentiel de glissement de terrain. Les municipalités se préoccupent également du potentiel de pénurie d'eau potable.

Parmi les données et les outils à la disposition du public sur les changements climatiques potentiels et les impacts connexes en Colombie-Britannique, notons une base de données en ligne fournissant des cartes des plaines inondables, un modèle de bilan hydrique (www.bc.waterbalance.ca, en anglais seulement) et deux outils de planification en ligne pour aider les collectivités à comprendre les changements climatiques : *Plan2Adapt* (www.plan2adapt.ca, en anglais seulement) et la *BC Climate Action Toolkit* (www.toolkit.bc.ca, en anglais seulement). Les collectivités peuvent utiliser ces ressources de façon à en adapter les entrants à leur région géographique, obtenant ainsi une bonne caractérisation du niveau de risque potentiel auquel une collectivité peut s'attendre du fait des changements climatiques.

5.2.2 CONSÉQUENCES INVOLONTAIRES DE L'ADAPTATION

Les gouvernements locaux ont également exprimé des préoccupations quant à l'impact sur la valeur de la propriété de leurs électeurs de la désignation des plaines inondables. Les propriétés situées dans les plaines inondables désignées ont généralement une valeur moindre que les propriétés équivalentes qui ne sont pas dans une plaine inondable, en particulier après des tempêtes ayant causé des dommages (Bin et Polasky, 2004; Bin et Landry, 2013). Toutefois, on a observé que la réduction de la valeur s'estompe dans les 5 à 6 années suivant une tempête (Bin et Landry, 2013), ce qui laisse entendre que l'attrait des parcelles au bord de l'eau continue de faire augmenter la valeur des propriétés même lorsqu'elles sont sujettes à des dommages périodiques causés par les tempêtes (à condition que les dommages soient suivis d'une période de calme relatif). À ce jour, le marché immobilier en Colombie-Britannique ne semble pas attribuer une prime de risque d'inondation dans les zones de risque, ce qui laisse croire que les acheteurs sont soit mal informés des risques d'inondation soit, ce qui est plus probable, qu'ils ne s'en soucient guère.

Les gouvernements locaux se préoccupent de la responsabilité légale. Les questions de responsabilité pourraient apparaître sous forme d'accusations de négligence ou de nuisance si, par exemple, on peut prouver qu'ils n'ont pas fait preuve de diligence raisonnable à l'égard de leurs résidents. Ce sujet est abordé dans l'étude de cas 13.

ÉTUDE DE CAS 13

ADAPTATION ET RESPONSABILITÉ LÉGALE : PRÉOCCUPATIONS DES GOUVERNEMENTS LOCAUX

Le cadre juridique dans lequel les municipalités côtières évoluent peut influencer ou imposer certaines mesures d'adaptation parce que les responsabilités légales, démontrées aussi bien que perçues, peuvent s'avérer être pertinentes à l'égard de la planification. Comme ailleurs au Canada, les gouvernements locaux de la Colombie-Britannique tirent leurs pouvoirs et les tâches afférentes de la législation provinciale. Ils peuvent également être touchés par des exigences des gouvernements fédéral et provincial susceptibles d'imposer des décisions de planification au niveau local (p. ex. codes du bâtiment). Dans certains cas, cet exercice de la compétence fédérale ou provinciale peut correspondre aux politiques et aux objectifs des gouvernements locaux, ou les appuyer; dans d'autres cas, ces exigences peuvent constituer des entraves (Vadeboncoeur et Carlson, travaux en cours). En conséquence, des municipalités adjacentes dans une région peuvent avoir des approches très différentes par rapport au même ensemble d'enjeux.

Le risque de responsabilité légale, même s'il est loin d'être un moteur dominant en ce qui a trait aux mesures d'adaptation à l'élévation du niveau de la mer adoptées par les gouvernements locaux, semble néanmoins être un facteur à prendre en considération, compte tenu de son impact financier potentiel. Cela s'explique par le fait que les gouvernements locaux sont assujettis à des précédents de common law tirés de décisions des tribunaux, à moins d'être protégés par l'immunité légale ou d'autres dispositions. Il y a des exemples de municipalités canadiennes visées par des recours collectifs qui ont pour but de recouvrir la valeur des dommages matériels causés par des phénomènes climatiques extrêmes.

Les gouvernements locaux peuvent être tenus responsables de phénomènes extrêmes, comme des inondations, dans le cadre d'accusations de négligence et de nuisance. Ces accusations peuvent être fondées sur des décisions et des actions des gouvernements locaux touchant la conception, la construction, l'exploitation et l'inspection d'infrastructures dans les cas où les infrastructures connaissent des défaillances ou s'avèrent, d'une manière ou d'une autre, dangereuses ou dommageables pour les personnes ou les propriétés. Compte tenu des renseignements actuellement disponibles concernant l'élévation du niveau de la mer, une inondation côtière peut être perçue comme un facteur dont les gouvernements locaux devraient tenir compte lors de la prise de décisions et la mise en œuvre d'actions opérationnelles, le cas échéant.

Les gouvernements locaux de la Colombie-Britannique jouissent d'une immunité légale en vertu de la *Local Government Act* (Loi sur les gouvernements locaux) lorsque les systèmes d'égout, les installations d'adduction d'eau ou de drainage, les digues ou les routes connaissent des bris ou des défaillances et nuisent à l'utilisation d'une propriété privée. Toutefois, les tribunaux de la Colombie-Britannique ont statué que cette immunité ne s'applique pas lorsque les dommages à la propriété découlent d'une conception qui ne convient pas à l'usage prévu d'une infrastructure. Les infrastructures construites aujourd'hui risquent d'être compromises par l'élévation du niveau de la mer à l'avenir et pourraient donner lieu à une responsabilité si l'on ne tient pas compte de cette élévation au moment de leur conception. Afin de minimiser la responsabilité et d'éviter les coûts d'investissement élevés qu'entraînent des mises à niveau ou des déplacements évitables, les gouvernements locaux exigent de bons renseignements techniques sur la vulnérabilité des infrastructures. Ces renseignements seront également pertinents lorsqu'il s'agit de déterminer l'emplacement de nouvelles infrastructures afin de minimiser les risques liés aux dommages causés par les inondations et les tempêtes.

Les risques de responsabilité légale liés à la défaillance possible d'une infrastructure peuvent constituer un facteur supplémentaire susceptible de motiver les gouvernements locaux à prendre les mesures nécessaires en vue de se préparer à faire face à l'élévation du niveau de la mer.

6 CONCLUSIONS

Les impacts actuels et prévus des changements climatiques sur les côtes de la Colombie-Britannique découlent à la fois des impacts directs des conditions atmosphériques changeantes et des modifications indirectes aux écosystèmes côtiers induites par le climat. Ces changements constituent à la fois des risques et des défis pour les gouvernements locaux et les Premières nations de même qu'un risque pour l'économie de la Colombie-Britannique en général. Les principales conclusions tirées de ce chapitre sont résumées ici.

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ONT DÉJÀ UN IMPACT SUR LA CÔTE

Les données historiques sur le climat indiquent qu'il y a une tendance graduelle au réchauffement sur les côtes de la Colombie-Britannique depuis 1900, particulièrement en hiver. On a observé de plus fortes précipitations en hiver et à l'automne, alors que les pluies estivales moins fréquentes peuvent avoir une incidence sur les périodes de sécheresse saisonnière. Les températures hivernales plus élevées ont entraîné un déclin des précipitations sous forme de neige, qui se traduit par une augmentation du ruissellement et une diminution de la quantité d'eau stockée sous forme de neige et de glace en altitude, phénomènes qui aggravent les pénuries d'eau estivales dans certaines régions au cours de certaines années.

Les effets géologiques amplifieront ou atténueront les répercussions de l'élévation du niveau de la mer dans les collectivités côtières. Dans certaines régions, le soulèvement de la croûte terrestre fera paraître le niveau relatif de la mer moins élevé que la moyenne globale, alors que l'affaissement de la croûte terrestre dans d'autres régions se traduira par une élévation plus rapide du niveau de la mer. L'augmentation de l'activité orageuse agravera le problème posé par l'élévation du niveau de la mer parce qu'une plus grande profondeur d'eau permet aux vagues d'acquérir plus de puissance, exposant les populations côtières à un plus grand risque d'inondations et de dommages causés par les tempêtes.

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ACCENTUERONT LES PRESSIONS EXISTANTES EXERCÉES SUR LES PÊCHES DE COLOMBIE-BRITANNIQUE

Même si l'industrie des pêches a considérablement changé au cours des deux dernières décennies, en raison d'une certaine perte d'importance et de la croissance d'une grande composante de capture commerciale, elle demeure un élément important de l'identité sociale et culturelle de nombreux Britanno-Colombiens.

La répartition de la disponibilité de certaines espèces de poisson endémiques changera probablement à mesure que l'aire de répartition des espèces marines se déplace vers le nord. Il est possible que l'aire de répartition australe de stocks vigoureux de saumon décline alors que leur aire de répartition

boréale tendera à s'étendre. Si cela se produit, les espèces disponibles pour les pêcheurs conventionnels, sportifs et des Premières nations changeront, en particulier dans la partie sud de la province. Le saumon d'élevage ne sera probablement pas touché par ces changements dans la répartition, mais les activités de capture commerciale pourraient être touchées par les changements climatiques, du fait du risque accru de tempête (pouvant endommager les parcs en filet) et des eaux plus chaudes (qui peuvent accroître le risque de maladie).

Les mollusques et crustacés sont touchés par l'acidité accrue de l'océan. L'acidification combinée à l'augmentation de la température de l'eau porte atteinte aux mollusques et crustacés en limitant leur capacité de reproduction et en diminuant leur habitat (vertical).

La pêche de capture commerciale, ses régulateurs et le marché ont réagi aux déclins marqués des populations de saumon et de hareng en augmentant l'utilisation d'autres espèces de poisson commerciales. Cet ajustement semble indiquer que l'industrie de la pêche en Colombie-Britannique peut composer avec la disponibilité changeante des espèces cibles. Bien que l'on dispose de peu de renseignements sur les pêches des Premières nations, l'importance culturelle primordiale du saumon (et des activités associées à sa capture, sa transformation et sa distribution) portent à croire que l'aptitude à s'adapter à des fluctuations soudaines ou à un déclin soutenu de la migration anadrome du saumon est limitée. Certaines communautés des Premières nations ont appuyé l'adaptation, mais les mesures proactives concrètes sont peu nombreuses.

DES INFRASTRUCTURES D'IMPORTANCE STRATÉGIQUE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE DOIVENT RELEVER DES DÉFIS À COURT ET À LONG TERME DÉCOULANT DE LA VARIABILITÉ ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les changements climatiques présentent un ensemble de risques pour les infrastructures essentielles, comme le Port Metro Vancouver et l'Aéroport international de Vancouver, et l'infrastructure d'importance régionale, comme les routes, les lignes électriques et les conduites de gaz. L'expansion anticipée du développement du secteur des ressources primaires dans la province, et les besoins connexes en matière d'infrastructure, y compris des terminaux d'exportation le long de la côte Nord, accroîtront l'exposition aux impacts du climat. Même si peu de recherches connexes dans le domaine ont été entreprises, ces industries ont démontré leur compréhension des risques que posent les changements climatiques pour leurs exploitations et prennent les mesures qui s'imposent pour les contrer (p. ex. Aéroport international de Vancouver) ou sont satisfaites de leurs préparatifs actuels et possèdent les données requises pour procéder à une nouvelle évaluation des risques lorsqu'elles le jugeront propice (p. ex. Port Metro Vancouver).

LA VULNÉRABILITÉ PRÉSENTE DES DIFFÉRENCES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

La vulnérabilité aux changements climatiques reflète la diversité sociale, culturelle et géographique des côtes de la Colombie-Britannique. Par exemple, les pêcheurs de saumon de la partie sud de la province subiront les impacts des pressions accrues sur les stocks péchés plus rapidement que les pêcheurs plus au nord. Les collectivités exposées à de vastes étendues d'eau libre courront plus de risques liés aux tempêtes que celles qui se trouvent dans des endroits plus abrités. Les peuples des Premières nations et les autres collectivités dont les revenus principaux reposent sur les pêches de salmonidés subiront les effets liés au déclin des prises commerciales comme les autres groupes, mais seront également touchés sur les plans culturel et social si leurs prises de subsistance déclinent elles aussi.

Il existe également des différences entre les collectivités rurales et urbaines. Les premières s'appuient souvent plus lourdement sur les ressources naturelles alors que les secondes ont des économies plus diversifiées et ont une plus grande capacité de réaction aux risques. Ainsi, l'adaptation rurale exige souvent d'insister davantage sur la gestion des impacts socioéconomiques des changements dans les économies axées sur les ressources et l'emplacement.

7 RÉFÉRENCES

- Abeysirigunawardena, D.S. et Walker, I.J. (2008) : Sea level responses to climatic variability and change in northern British Columbia; *Atmosphere-Ocean*, vol. 46, n° 3, p. 277–296. doi :10.3137/ao.460301
- Adger, W.N. et Kelly, P.M. (1999) : Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements; *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, n° 3–4, p. 253–266. doi :10.1023/A:1009601904210
- Administration de l'aéroport de Vancouver (2010) Powered by people : Vancouver International Airport 2010 economic impact report; Administration de l'aéroport de Vancouver, <http://www.yvr.ca/Libraries/Annual_report/2012_Full_Annual_and_Sustainability_Report.sflb.ashx>.
- Administration de l'aéroport de Vancouver (2012) : 2012 annual and sustainability report; Administration de l'aéroport de Vancouver, 81 p.
- Administration portuaire Vancouver-Fraser (2013) : 2013 Financial report; Administration portuaire Vancouver-Fraser, Vancouver, Colombie-Britannique, 64 p., <https://issuu.com/portmetrovancouver/docs/port_metro_vancouver_2013_financial?e=3721702/8134686>.
- Arlington Group Planning + Architecture Inc., Tetra Tech EBA, De Jardine Consulting et Sustainability Solutions Group (2013) : Sea level rise adaptation primer : a toolkit to build adaptive capacity on Canada's south coasts; BC Ministry of Environment, 149 p., <<http://www2.gov.bc.ca/gov/DownloadAsset?assetId=41DCF41B26B4449D8F54FAA0A8C751A9&filename=slr-primer.pdf>>.
- Association of Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia (2012) : Professional practice guidelines – legislated flood assessments in a changing climate in BC; Association of Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia, BC Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations et Ressources naturelles Canada, 144 p., <<https://www.apeg.bc.ca/getmedia/18e44281-fb4b-410a-96e9-cb3ea74683c3/APEGBC-Legislated-Flood-Assessments.pdf.aspx>>.
- Ausenco Sandwell (2011a) : Climate change adaptation guidelines for sea dikes and coastal flood hazard land use : draft policy discussion paper; BC Ministry of Environment, 45 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/draft_policy_rev.pdf>.
- Ausenco Sandwell (2011b) : Climate change adaptation guidelines for sea dikes and coastal flood hazard land use : guidelines for management of coastal flood hazard land use; BC Ministry of Environment, 22 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/coastal_flooded_land_guidelines.pdf>.
- Ausenco Sandwell (2011c) : Climate change adaptation guidelines for sea dikes and coastal flood hazard land use : sea dikes guidelines; BC Ministry of Environment, 59 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/sea_dike_guidelines.pdf>.
- Bailey, M., Sumaila, U.R. et Lindroos, M. (2010) : Application of game theory to fisheries over three decades; *Fisheries Research*, vol. 102, n° 1–2, p. 1–8.
- Barrie, J.V. et Conway, K.W. (2002) : Rapid sea level change and coastal evolution on the Pacific Margin of Canada; *Journal of Sedimentary Geology*, vol. 150, p. 171–183.
- Barron, S., Flanders, D., Pond, E., Tatebe, K., Canete, G., Sheppard, S., Carmichael, J. et Muir Owen, S. (2012) : Delta-RAC sea level rise adaptation visioning study : policy report; <http://www.fraserbasin.bc.ca/_Library/CCAO_BCRAC/bcrac_delta_visioning-policy_4d.pdf>.
- Batten, S.D. et Mackas, D.L. (2009) : Shortened duration of the annual *Neocalanus plumchrus* biomass peak in the Northeast Pacific; *Marine Ecology Progress Series*, vol. 393, p. 189–198.
- BC Agriculture and Food (2013a) : BC Agriculture and Climate Change Regional Adaptation Strategies Series : Delta; BC Agriculture and Food, Climate Action Initiative, <<http://www.bcalclimateaction.ca/wp/wp-content/media/RegionalStrategies-Delta.pdf>>.
- BC Agriculture and Food (2013b) : BC Agriculture climate change action plan 2010–2013; BC Agriculture and Food, Climate Action Initiative, 55 p., <<http://www.bcalclimateaction.ca/wp/wp-content/media/BC-Agriculture-Climate-Change-Action-Plan.pdf>>.
- BC Assembly of First Nations (2007) : BC First Nations fisheries action plan : preparing for transformative change in the BC fishery; British Columbia Assembly of First Nations, First Nations Summit and Union of British Columbia Indian Chiefs, 30 p., <http://www.fns.bc.ca/pdf/FNLC_FisheriesActionPlan.pdf>.
- BC Ferries (2013) : Just the facts; British Columbia Ferry Services Inc., <http://www.bcferries.com/current_conditions/Stats.html>.
- BC Hydro (2015) : Bridge River; BC Hydro, In your Community, Recreation Areas, <http://www.bchydro.com/community/recreation_areas/bridge_river.html>.
- BC Ministry of Agriculture (2011) : 2011 British Columbia seafood industry year in review; BC Ministry of Agriculture, <http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/statistics/industry-and-sector-profiles/year-in-review/bcseafood_yearinreview_2011.pdf>.
- BC Ministry of Environment (2004) : Flood hazard area land use management guidelines; BC Ministry of Environment, 72 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/guidelines-2011.pdf>.
- BC Ministry of Environment (2007) : Environmental trends in British Columbia : 2007; BC Ministry of Environment, Environmental Reporting BC, 352 p., <https://www.th.gov.bc.ca/climate_action/documents/hwy16_BCYellowhead_Highway.pdf>.
- BC Ministry of Transportation and Infrastructure and Nodelcorp Consulting Inc. (2011) : Climate change engineering vulnerability assessment : BC Yellowhead Highway 16 between Vanderhoof and Priestly Hill; Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee, 103 p., <http://www.pievc.ca/e/casedocs/bc-yellowhead/BCMoTI_Yellowhead_Highway_-_Vulnerability_Report.pdf>.
- BC Stats (2013a) : Population estimates : annual population, July 1, 1867–2013; BC Stats, <<http://www.bcstats.gov.bc.ca/StatisticsBySubject/Demography/PopulationEstimates.aspx>>.
- BC Stats (2013b) : Sub-provincial population projections – P.E.O.P.L.E. 2103; BC Stats, <<http://www.bcstats.gov.bc.ca/StatisticsBySubject/Demography/PopulationProjections.aspx>>.
- BC Stats (2013c) : The British Columbia economic accounts; BC Stats, <<http://www.bcstats.gov.bc.ca/StatisticsBySubject/Economy/EconomicAccounts.aspx>>.
- BC Stats (2014) : BC gross domestic product at basic prices, 1997–2014 chained 2007\$; chiffrier Excel, BC Stats, <<http://www.bcstats.gov.bc.ca/StatisticsBySubject/Economy/EconomicAccounts.aspx>>.
- Beaugrand, G., Edwards, M., Brander, K., Luczak, C. etlbanez, F. (2008) : Causes and projections of abrupt climate-driven ecosystem shifts in the North Atlantic; *Ecology Letters*, vol. 11, n° 11, p. 1157–1168. doi :10.1111/j.1461-0248.2008.01218.x
- Beaugrand, G., Reid, P.C., Ibanez, F., Lindley, J.A. et Edwards, M. (2002) : Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate; *Science*, vol. 296, n° 5573, p. 1692–1694. doi :10.1126/science.1071329
- Berkes, F. et Jolly, D. (2002) : Adapting to climate change : social-ecological resilience in a Canadian western Arctic community; *Conservation Ecology*, vol. 5, n° 2, art. 18, <<http://www.ecologyandsociety.org/vol5/iss2/art18/>>.

- Bertram, D.F. (2001) : Proceedings of the PICES/CoML/IPRC workshop on impact of climate variability on observation and prediction of ecosystem and biodiversity changes in the North Pacific : seabirds reflect changes in ocean climate; PICES Scientific Report 18, p. 179–202, <https://www.pices.int/publications/scientific_reports/Report18/Report18.pdf>.
- Bin, O. et Landry, C.E. (2013) : Changes in implicit flood risk premiums : empirical evidence from the housing market; *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 65, n° 3, p. 361–376.
- Bin, O. et Polasky, S. (2004) : Effects of flood hazards on property values : evidence before and after Hurricane Floyd; *Land Economics*, vol. 80, n° 4, p. 490–500.
- Bizikova, L., Neale, T. et Burton, I. (2008) : Canadian communities' guidebook for adaptation to climate change; Environnement Canada et l'Université de British Columbia, Vancouver, Colombie-Britannique, 100 p., <http://www.fcm.ca/Documents/tools/PCP/canadian_communities_guidebook_for_adaptation_to_climate_change_EN.pdf>.
- Bjerregaard, P. et Young, T.K. (1999) : The circumpolar Inuit : health of a population in transition; *Polar Bear*, vol. 35, n° 195, p. 355–357.
- Black, B.A., Sydeman, W.J., Frank, D.C., Griffin, D., Stahle, D.W., Garcia-Reyes, M., Rykaczewski, R.R. et Bogard, S.J. (2014) : Six centuries of variability and extremes in a coupled marine-terrestrial ecosystem; *Science*, vol. 345, n° 6203, p. 1498–1502.
- Blanchard, J., Jennings, S., Holmes, R., Harle, J., Merino, G., Allen, J.I., Holt, J., Dulvy, N.K. et Barange, M. (2012) : Potential consequences of climate change for primary production and fish production in large marine ecosystems; *Philosophical Transactions of the Royal Society, B: Biological Sciences*, vol. 367, n° 1605, p. 2979–2989. doi :10.1098/rstb.2012.0231
- Bolch, T., Menounos, B. et Wheate, R. (2010) : Landsat-based inventory of glaciers in western Canada, 1985–2005; *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, p. 127–137.
- Bornhold, B.D. et Thomson, R.E. (2013) : Trends in sea level; dans *Climate Trends and Projections for the Pacific Large Aquatic Basin*, J.R. Christian and M.G.G. Foreman (éd.); Rapports techniques canadiens des sciences halieutiques et aquatiques, n° 3032, 113 p.
- Borsje, B.W., van Wesenbeeck, B.K., Dekker, F., Paalvast, P., Bouma, T.J., van Katwijk, M.M. et de Vries, M.B. (2011) : How ecological engineering can serve in coastal protection; *Ecological Engineering*, vol. 37, n° 2, p. 113–122.
- Borstad, G., Crawford, W., Hipfner, J.M., Thomson, R. et Hyatt, K. (2011) : Environmental control of the breeding success of rhinoceros auklets at Triangle Island, British Columbia; *Marine Ecology Progress Series*, vol. 424, p. 285–302.
- Brierley, A.S. et Kingsford, M.J. (2009) : Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems; *Current Biology*, vol. 19, n° 14, p. R602–R614.
- Brodeur, R.D., Fisher, J.P., Emmett, R.L., Morgan, C.A. et Casillas, E. (2005) : Species composition and community structure of pelagic nekton off Oregon and Washington under variable oceanographic conditions; *Marine Ecology Progress Series*, vol. 298, p. 41–57.
- Brodeur, R.D., Pearcy, W.G. et Ralston, S. (2003) : Abundance and distribution patterns of nekton and micronekton in the northern California Current transition zone; *Journal of Oceanography*, vol. 59, n° 4, p. 515–535.
- Brodeur, R.D., Ralston, S., Emmett, R.L., Trudel, M., Auth, T.D. et Phillips, A.J. (2006) : Anomalous pelagic nekton abundance, distribution, and apparent recruitment in the northern California Current in 2004 and 2005; *Geophysical Research Letters*, vol. 33, n° 22, art. L22S08. doi :10.1029/2006GL026614
- Bryant, M.D. (2009) : Global climate change and potential effects on Pacific salmonids in freshwater ecosystems of southeast Alaska; *Climatic Change*, vol. 95, no. 1–2, p. 169–193.
- Bulleri, F. et Chapman, M.G. (2010) : The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments; *Journal of Applied Ecology*, vol. 47, n° 1, p. 26–35.
- Burch, S. (2010) : In pursuit of resilient, low carbon communities : an examination of barriers to action in three Canadian cities; *Energy Policy*, vol. 38, n° 12, p. 7575–7585.
- Burch, S. et Robinson, J. (2007) : A framework for explaining the links between capacity and action in response to global climate change; *Climate Policy*, vol. 7, n° 4, p. 304–316.
- Burch, S., Sheppard, S.R.J., Shaw, A., Flanders, D. et Cohen, S.J. (2010) : Planning for climate change in a flood-prone community : municipal barriers to policy action and the use of visualizations as decision-support tools; *Climate Impacts and Adaptation Science*, vol. 1, p. 93–121.
- Bush, E.J., Loder, J.W., James, T.S., Mortsch, L.D. et Cohen, S.J. (2014) : Un aperçu des changements climatiques au Canada, dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada: perspectives des secteurs relative aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.); Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 23–64.
- Callaway, D. (1995) : Resource use in rural Alaskan communities; dans *Human Ecology and Climate Change : People and Resources in the Far North*, D. Peterson et D. Johnson (éd.); Taylor & Francis, Washington, District of Columbia, p. 155–169.
- Campbell, I.D., Durant, D.G., Hunter, K.L. et Hyatt, K.D. (2014) : La production alimentaire; dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada: perspectives des secteurs relative aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.); Gouvernement du Canada, Ottawa, ON, p. 99–134, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre4-Production-alimentaire_Fra.pdf>.
- Chan, F., Barth, J.A., Lubchenco, J., Kirincich, A., Weeks, H., Peterson, W.T. et Menge, B.A. (2008) : Emergence of anoxia in the California Current large marine ecosystem; *Science*, vol. 319, n° 5865, p. 920.
- Chavez, F., Hales, B., Hernandez, M., Gruber, N. et Ianson, D. (2007) : North America's Pacific coast; dans *North American Continental Margins : A Synthesis and Planning Workshop*, B. Hales, W.J. Cai, B.G. Mitchell, C.L. Sabine et O. Schofield (éd.); rapport préparé par le North American Continental Margins Working Group à l'intention du United States Carbon Cycle Scientific Group et du Interagency Working Group, Washington, District of Columbia, p. 35–46, <<http://data.globalchange.gov/assets/48/3f/48c42b8c11bb5e3f5e442a72a7ae/north-american-continental-margins.pdf>>.
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R. et Pauly, D. (2009) : Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios; *Fish and Fisheries*, vol. 10, p. 235–251.
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D. et Pauly, D. (2010) : Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change; *Global Change Biology*, vol. 16, n° 1, p. 24–35.
- Cheung, W.W.L., Zeller, D. et Pauly, D. (2011) : Projected species shifts due to climate change in the Canadian marine ecoregions; rapport préparé par le Fisheries Centre, Université de British Columbia, à l'intention de Environnement Canada, 46 p.
- Cheung, W.W.L., Pinnegar, J., Merino, G., Jones, M.C. et Barange, M. (2012) : Review of climate change impacts on marine fisheries in the UK and Ireland; *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 22, n° 3, p. 368–388.
- Cheung, W.W.L., Watson, R. et Pauly, D. (2013) : Signature of ocean warming in global fisheries catch; *Nature*, vol. 497, n° 7449, p. 365–368.
- Cheung, W.W.L., Okey, T.A., Brodeur, R.D. et Pauly, D. (en préparation) : Projecting future change in distributions of marine fishes along the west coast of North America; *Marine Ecology Progress Series*.
- Clark C.W. (1990) : *Mathematical Bioeconomics : The Optimal Management of Renewable Resources* (Second Edition); Wiley, New York, New York, 386 p.
- Cooke, S.J., Hinch, S.G., Farrell, A.P., Lapointe, M.F., Jones, S.R.M., Macdonald, J.S., Patterson, D.A., Healey, M.C. et Van Der Kraak, G. (2004) : Abnormal migration timing and high en route mortality of sockeye salmon in the Fraser River, British Columbia; *Fisheries*, vol. 29, n° 2, p. 22–33.
- Cosgrove, J.A. (2005) : The first specimens of Humboldt squid in British Columbia; PICES Press, vol. 13, n° 2, p. 30–31.
- Craig-Smith, J., Tapper, R. et Font, X. (2006) : The coastal and marine environment; dans *Tourism and Global Environmental Change : Ecological, Social, Economic and Political Interrelationships*, S. Gössling et C.M. Hall; Routledge (éd.), Londres, Royaume-Uni, p. 107–127.
- Crawford, W.R., Cherniawsky, J., Foreman, M., et Chandler, P. (1999) : El Niño sea level signal along the west coast of Canada; North Pacific Marine Science Organization (PICES), Scientific Report No. 10.
- Crim, R.N., Harley, C.D.G. et Sunday, J.M. (2011) : Elevated seawater CO₂ concentrations impair larval development and reduce larval survival in endangered northern abalone (*Haliotis kamtschatkana*); *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 400, n° 1–2, p. 272–277.
- Crossin, G.T., Hinch, S.G., Cooke, S.J., Welch, D.W., Patterson, D.A., Jones, S.R.M., Lotto, A.G., Leggatt, R.A., Mathes, M.T., Shrimpton, J.M., Van Der Kraak, G. et Farrell, A.P. (2008) : Exposure to high temperature influences the behaviour, physiology, and survival of sockeye salmon during spawning migration; *Revue canadienne de zoologie*, vol. 86, n° 2, p. 127–140.
- Cunderlik, J.M. et Burn, D.H. (2002) : Local and regional trends in monthly maximum flows in southern British Columbia; *Revue canadienne des ressources hydrauliques*, vol. 27, n° 2, p. 191–212.

- 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., Joukoulas, 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.
- Delcan (2012) : Cost of adaptation – sea dikes and alternative strategies – final report; BC Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, 23 p., <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/cost_of_adaptation-final_report_ocf2012.pdf>.
- Demarchi, D.A. (2011) : The British Columbia ecoregion classification (third edition); BC Ministry of Environment, <<http://www.env.gov.bc.ca/ecology/ecoregions/contents.html>>.
- Déry, S.J., Hernández-Henríquez, M.A., Owens, P.N., Parkes, M.W. et Petticrew, E.L. (2012) : A century of hydrological variability and trends in the Fraser River basin; *Environmental Research Letters*, vol. 7, n° 2, art. 024019. doi:10.1088/1748-9326/7/2/024019
- District régional de la capitale (2012) : Climate Action Program : 2012 annual report; District régional de la capitale (DRC), Climate Action Program, Victoria, Colombie-Britannique, 12 p., <<https://www.crd.bc.ca/docs/default-source/climate-action-pdf/2012-cap-annual-report.pdf?sfvrsn=0>>.
- Dugan, J.E., Hubard, D.M., Rodil, I.F., Revell, D.L. et Schroeter, S. (2008) : Ecological effects of coastal armouring on sandy beaches; *Marine Ecology*, vol. 29, suppl. s1, p. 160-170.
- Eggleton, J. et Thomas, K.V. (2004) : A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events; *Environment International*, vol. 30, n° 7, p. 973-980.
- Elliott, J.M. (1994) : Quantitative Ecology and the Brown Trout (Oxford Series in Ecology and Evolution); Oxford University Press, Oxford, Royaume-Uni, 304 p.
- Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique, Secrétariat, éditeur (2005) : Arctic Climate Impact Assessment, Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique: Rapport scientifique; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 1046 p., <<http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>>.
- Farrell, J. et Rose, A.H. (1967) : Temperature effects on micro-organisms; dans *Thermobiology*, A.H. Rose (éd.); Academic Press, Londres, Royaume-Uni, p. 147-218.
- Feeley, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J. et Millero, F.J. (2004) : Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans; *Science*, vol. 305, p. 362.
- Finney, B.P., Gregory-Eaves, I., Douglas, M.S.V. et Smol, J.P. (2002) : Fisheries productivity in the northeastern Pacific Ocean over the past 2,200 years; *Nature*, vol. 416, no. 6882, p. 729-733.
- Fleming, S.W. et Whitfield, P.H. (2010) : Spatiotemporal mapping of ENSO and PDO surface meteorological signals in British Columbia, Yukon and southeast Alaska; *Atmosphere-Ocean*, vol. 48, n° 2, p. 122-131.
- Fleming, S.W., Whitfield, P.H., Moore, R.D. et Quilty, E.J. (2007) : Regime-dependent streamflow sensitivities to Pacific climate modes cross the Georgia-Puget transboundary ecoregion; *Hydrological Processes*, vol. 21, n° 24, p. 3264-3287. doi:10.1002/hyp.6544
- Forsberg, J.E. (2013) : Age distribution of Pacific halibut in the 2013 IPHC stock assessment setline survey; International Pacific Halibut Commission (IPHC) Report of Assessment and Research Activities 2013, p. 433-439, <http://www.iphc.int/publications/rara/2013/rara2013_29_2013surveyage.pdf>.
- Forseth, P. (2012) : Adaptation to sea level rise in Metro Vancouver : a review of literature for historical sea level flooding and projected sea level rise in Metro Vancouver; rapport préparé par P. Forseth à l'intention de l'Adaptation to Climate Change Team (ACT), Université Simon Fraser, Burnaby, Colombie-Britannique, 34 p., <http://act-adapt.org/wp-content/uploads/2011/06/ACT_SLR_Literature-Review_250212.pdf>.
- Freeland, H.J. (2013) : Evidence of change in the winter mixed layer in the northeast Pacific Ocean : a problem revisited; *Atmosphere-Ocean*, vol. 51, n° 1, p. 126-133.
- Freeland, H.J., Denman, K., Wong, C.S., Whitney, F. et Jacques, R. (1997) : Evidence of change in the winter mixed layer in the Northeast Pacific Ocean; *Deep-Sea Research, Part I : Oceanographic Research Papers*, vol. 44, n° 12, p. 2117-2129.
- Fry, F.E.J. (1967) : Responses of vertebrate poikilotherms to temperature; dans *Thermobiology*, A.H. Rose (éd.); Academic Press, Londres, Royaume-Uni, p. 375-409.
- Fulton, J.D. (1985) : Summary of unusual sightings of marine species off British Columbia during the 1982-82 El Niño; dans *El Niño North : Niño Effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean*, W.S. Wooster et D.L. Fluharty (éd.); Washington Sea Grant, Seattle, Washington, p. 248-252.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2000) : Rapport spécial sur les scénarios d'émissions; Groupe de travail III, N. Nakicenovic et R. Swart (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 599 p., <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/emissions_scenarios.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013c). Résumé à l'intention des décideurs; dans *Changements climatiques 2013: les éléments scientifiques, contribution du Groupe de travail I au Cinquième rapport 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. 3-29, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf>.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R.J. et Corfee-Morlot, J. (2013) : Future flood losses in major coastal cities; *Nature Climate Change*, vol. 3, p. 803-806.
- Harding, J.A., Armann, A.J. et MacFarlane, R.B. (2011) : Regional and seasonal patterns of epipelagic fish assemblages from the central California Current; *Fishery Bulletin*, vol. 109, n° 3, p. 261-281.
- Harford, D. (2008) : Climate change adaptation : planning for BC; Pacific Institute for Climate Solutions (PICS), Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, Adaptation Priorities, 28 p., <http://pics.uvic.ca/sites/default/files/uploads/publications/WP_Adaptation_Planning_November2008.pdf>.
- Herrick, S., Hill, K. et Reiss, C. (2006) : An optimal harvest policy for the recently renewed United States Pacific sardine fishery; dans *Climate Change and the Economics of the World's Fisheries : Examples of Small Pelagic Stocks*, R. Hannesson, M. Barange, et S. Herrick (éd.); Edward Elgar, Glasgow, Royaume-Uni, p. 126-150.
- Hill, K.T., Lo, N.C.H., Macewicz, B.J. et Felix-Uraga, R. (2006) : Assessment of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caerulea*) population for U.S. management in 2006; United States Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Technical Memorandum, 75 p.
- Hill, P.R., Butler, R.W., Elner, R.W., Houser, C., Kirwan, M.L., Lambert, A., Lintern, D.G., Mazzotti, S., Shaw, A., Sutherland, T., Levings, C., Morrison, S., Petersen, S. et Solomon, S. (2013) : Impacts of sea level rise on Roberts Bank (Fraser Delta, British Columbia); Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Dossier public 7259, 71 p., <<http://geografis.gc.ca/api/en/nrcan-rncan/ess-sst/c4813e59-f100-599f-8899-685fd6a34369.html>>.
- Hinch, S.G. et Martins, E.G. (2011) : Examen des effets potentiels des changements climatiques sur la survie des saumons rouges du fleuve Fraser et analyse des tendances interannuelles de la mortalité en cours de migration et avant la fraye; Commission d'enquête Cohen sur les déclins des populations de saumon rouge du fleuve Fraser, Rapport technique 9, 134 p., <<http://www.watershed-watch.org/wordpress/wp-content/uploads/2011/06/Exh-553-NonRT.pdf>>.
- Hipfner, J.M. (2008) : Matches and mismatches : ocean climate, prey phenology and breeding success in a zooplanktivorous seabird; *Marine Ecology Progress Series*, vol. 368, p. 295-304.
- Huppert, D.D., Moore, A. et Dyson, K. (2009) : Impacts of climate change on the coasts of Washington State; dans *The Washington Climate Change Impacts Assessment : Evaluating Washington's Future in a Changing Climate*; Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, Washington, p. 285-309, <<http://cses.washington.edu/db/pdf/wacciach8coasts651.pdf>>.
- Hyatt, K.D., Stockwell, M.M. et Rankin, D.P. (2003) : Impact and adaptation of Okanagan River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* to climate variation and change effects during fresh water migration : stock restoration and fisheries management implications; *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 28, n° 4, p. 689-713.
- Ianson, D. (2008) : Ocean acidification off the West Coast; dans *État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique*, J. Irvine et B. Crawford (éd.); Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de consultation scientifique, Document de recherche 2008/013, p. 37-38, <http://www.dfo-mpo.gc.ca/CSAS/Csas/Publications/ResDocs-DocRech/2008/2008_013_e.pdf>.
- Ianson, D. (2013) : The increase in carbon along the Canadian Pacific coast; dans *Climate Trends and Projections for the Pacific Large Area Basin*, J.R. Christian et M.G.G. Foreman (éd.); Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3032, p. 57-66, <http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/mpo-dfo/Fs97-6-3032-eng.pdf>.

- Intervistas Consulting Inc. (2009) : 2008 Port Metro Vancouver economic impact study – final report; report prepared by Intervistas Consulting Inc. for Port Metro Vancouver, Vancouver, British Columbia, 103 p., <<http://www.metrovancouver.org/services/regional-planning/PlanningPublications/PMV-Economic-Impact-Study.pdf>>.
- Irvine, J.R. et Crawford W.R., éditeurs (2012) : État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2011; Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de consultation scientifique, Document de recherche 2012/072, 142 p., <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Csas-sccs/publications/resdocs-docres-ch/2012/2012_072-eng.pdf>.
- Irvine J.R. et Fukuwaka, M.A. (2011) : Pacific salmon abundance trends and climate change; ICES Journal of Marine Science, vol. 68, n° 6, p. 1122–1130.
- Ishimura, G., Herrick, S. et Sumaila, U.R. (2012) : Fishing games under climate variability : transboundary management of Pacific sardine in the California Current system; Environmental Economics and Policy, vol. 15, n° 2, p. 189–209.
- Ishimura, G., Herrick, S. et Sumaila, U.R. (2013) : Stability of cooperative management of the Pacific sardine fishery under climate variability; Marine Policy, vol. 39, p. 333–340.
- Jacob, C., McDaniels, T. et Hinch, S. (2010) : Indigenous culture and adaptation to climate change : sockeye salmon and the St'at'imc people; Mitigating Adaptation Strategies to Global Change, vol. 15, n° 8, p. 859–876.
- James, T.S., Henton, J.A., Leonard, L.J., Darlington, A., Forbes, D.L. et Craymer, M. (2014) : Relative sea level rise projections for Canada and the adjacent mainland United States; Commission géologique du Canada, Dossier public 7737, 67 p., <http://ftp2.cits.rncan.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; Commission géologique du Canada, Dossier public 7942, 81 p. doi:10.4095/297048
- Kalnejais, L.H., Martin, W.R., Signell, R.P. et Bothner, M.H. (2007) : Role of sediment resuspension in the remobilization of particulate-phase metals from coastal sediments; Environmental Science & Technology, vol. 41, n° 7, p. 2282–2288.
- Kalnejais, L.H., Martin, W.R. et Bothner, M.H. (2010) : The release of dissolved nutrients and metals from coastal sediments due to resuspension; Marine Chemistry, vol. 121, n° 1–4, p. 224–235.
- Katsanevakis, S., Stelzenmüller, V., South, A., Sorensen, T.K., Jones, P.J.S., Kerr, S., Badalamenti, F., Agagnostou, C., Breen, P., Chust, G., D'Anna, G., Duijn, M., Filatova, T., Fiorentino, F., Hulsman, H., Johnson, K., Karageorgis, A.R., Kroncke, I., Mirta, S., Pipitone, C., Portelli, S., Qiu, W.F., Reiss, H., Sakellarou, D., Salomidi, M., van Hoof, L., Vassilopoulou, V., Fernandez, T.V., Voge, S., Weber, A., Zenetos, A. et ter Hofstede, R. (2011) : Ecosystem-based marine spatial management : review of concepts, policies, tools, and critical issues; Ocean & Coastal Management, vol. 54, n° 1, p. 807–820.
- Katz, J., Moyle, P.B., Quiñones, R.M., Israel, J. et Purdy, S. (2013) : Impending extinction of salmon, steelhead, and trout (Salmonidae) in California; Environmental Biology of Fishes, vol. 96, n° 10–11, p. 1169–1186. doi:10.1007/s10641-012-9974-8
- Klein, R.J.T. et Nicholls, R.J. (1999) : Assessment of coastal vulnerability to climate change; Ambio, vol. 28, n° 2, p. 182–187.
- Kleypas, J.A., Feely, R.A., Fabry, V.J., Langdon, C., Sabine, C.L. et Robbins, L.L. (2005) : Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers : a guide for future research; National Science Foundation (NSF), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et United States Geological Survey (USGS), p. 18–20, <<http://www.isse.ucar.edu/florida/>>.
- Knowles, N., Dettinger, M.D. et Cayan, D.R. (2006) : Trends in snowfall versus rainfall in the western United States; Journal of Climate, vol. 19, n° 18, p. 4545–4559.
- Kurihara, H., Kato, S. et Ishimatsu, A. (2007) : Effects of increased seawater pCO_2 on early development of the oyster *Crassostrea gigas*; Aquatic Biology, vol. 1, p. 91–98.
- Lancaster, S.T., Nolin, A.W., Copeland, E.A. et Grant, G.E. (2012) : Periglacial debris-flow initiation and susceptibility and glacier recession from imagery, airborne LiDAR, and ground-based mapping; Geosphere, vol. 8, n° 2, p. 417–430.
- La Presse canadienne (2009) : Giant squid wash up on Vancouver Island; nouvelles de la SRC, <<http://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/story/2009/08/05/bc-tofino-giant-squid.html>>.
- Lee, M. (2002) : The cooler ring : urban Alaska native women and the subsistence debate; Arctic Anthropology, vol. 39, n° 1–2, p. 3–9.
- MacDonald, J.S., Foreman, M.G.G., Farrell, T., Williams, I.V., Grout, J., Cass, A., Woodey, J.C., Enzenhofer, H., Clarke, W.C., Houtman, R., Donaldson, E.M. et Barnes, D. (2000) : The influence of extreme water temperatures on migrating Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) during the 1998 spawning season; Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2326, 117 p. <http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/mpo-dfo/Fs97-6-2326-eng.pdf>.
- Mackas, D.L., Batten, S. et Trudel, M. (2007) : Effects on zooplankton of a warmer ocean : recent evidence from the northeast Pacific; Progress in Oceanography, vol. 75, n° 2, p. 223–252.
- Mackas, D.L., Goldblatt, R. et Lewis, A.G. (1998) : Interdecadal variation in developmental timing of *Neocalanus plumchrus* populations at Ocean Station P in the subarctic north Pacific; revue canadienne des sciences halieutiques et aquatiques, vol. 55, n° 8, p. 1878–1893.
- Martins, E.G., Hinch, S.G., Patterson, D.A., Hague, M.J., Cooke, S.J., Miller, K.M., Lapointe, M.F., English, K.K. et Farrell, A.P. (2011) : Effects of river temperature and climate warming on stock-specific survival of adult migrating Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*); Global Change Biology, vol. 17, n° 1, p. 99–114.
- Matthews, D.R. (1993) : Controlling Common Property : Regulating Canada's East Coast Fishery; University of Toronto Press, Toronto, Ontario, 277 p.
- Matthews, D.R. (2003) : Using a social capital perspective to understand social and economic development in coastal British Columbia; Policy Research Initiative, Policy Horizons Canada, vol. 6, n° 3, p. 25–29, <<http://www.horizons.gc.ca/sites/default/files/Publication-alt-format/2003-0183-eng.pdf>>.
- Mazzotti, S., Jones, C. et Thomson, R.E. (2008) : Relative and absolute sea level rise in western Canada and northwestern United States from a combined tide gauge-GPS analysis; Journal of Geophysical Research; Oceans, vol. 113, art. C11019. doi:10.1029/2008JC004835
- Mazzotti, S., Lambert, A., Van der Kooij, M. et Mainville, A. (2009) : Natural and anthropogenic subsidence of the Fraser River Delta; Geology, vol. 37, n° 9, p. 771–774, doi:10.1130/G25640A.1
- McGrath-Hanna, N., Greene, D.M., Tavernier, R.J. et Bult-Ito, A. (2003) : Diet and mental health in the arctic : is diet an important risk factor for mental health in circumpolar peoples? – a review; International Journal of Circumpolar Health, vol. 62, n° 3, p. 228–241.
- McKinnell, S.M., Curchitser, E., Groot, C., Kaeriyama, M. et Myers, K.W. (2011) : The decline of Fraser River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Steller, 1743) in relation to marine ecology; Commission d'enquête Cohen sur les déclins des populations de saumon rouge du fleuve Fraser, Rapport technique 4, 195 p., <<http://www.watershed-watch.org/wordpress/wp-content/uploads/2011/10/Exh-1291-CCI001134.pdf>>.
- McMichael, G.A. et Kaya, C.M. (1991) : Relations among stream temperature, angling success for rainbow trout and brown trout, and fisherman satisfaction; North American Journal of Fisheries Management, vol. 11, n° 2, p. 190–199.
- McRae, D.M. et Pearse, P.H. (2004) : Treaties and transition : toward a sustainability fishery policy on Canada's Pacific Coast; Ministère des Pêches et Océans Canada, 59 p., <<http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/publications/pdfs/jtf-eng.pdf>>.
- Melzner, F., Stange, P., Trübenbach, K., Thomsen, J., Casties, I., Panknin, U., Gorb, S.N. et Gutowska, M.A. (2011) : Food supply and seawater pCO_2 impact calcification and internal shell dissolution in the blue mussel *Mytilus edulis*; Plos One, vol. 6, n° 9, art. e24223. doi:10.1371/journal.pone.0024223
- Mesquita, M.S., Atkinson, D.E. et Hodges, K.I. (2010) : Characteristics and variability of storm tracks in the north Pacific, Bering Sea, and Alaska; Journal of Climate, vol. 23, n° 2, p. 294–311.
- Miller, A.W., Reynolds, A.C., Sobrino, C. et Riedel, G.F. (2009) : Shellfish face uncertain future in high CO_2 world : influence of acidification on oyster larvae calcification and growth in estuaries; Plos One, vol. 4, n° 5, art. e5661. doi:10.1371/journal.pone.0005661
- Miller, K., Munro, G.R. et Bjoerndal, T. (2004) : Climate, competition and the management of shared fish stocks; Institute for Research in Economics and Business Administration, Bergen, Norvège, Working Paper 33, 14 p., <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/165578/A33_04.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Moody, M. et Pitcher, T. (2010) : Eulachon (*Thaleichthys pacificus*) : past and present; Fisheries Centre Research Reports, vol. 18, n° 2, 197 p., <http://publications.oceans.ubc.ca/webfm_send/144>.
- Moore, R.D. et Demuth, M.N. (2001) : Mass balance and streamflow variability at Place Glacier, Canada, in relation to recent climate fluctuations; Hydrological Processes, vol. 15, n° 18, p. 3473–3486.

- Moore, R.D., Fleming, S.W., Menounos, B., Wheate, R., Fountain, A., Stahl, K., Holm, K. et Jakob, M. (2009) : Glacier change in western North America : influences on hydrology, geomorphic hazards and water quality; *Hydrological Processes*, vol. 23, n° 1, p. 42–61.
- Moore, R.D., Spittlehouse, D., Whitfield, P. et Stahl, K. (2010) : Weather and climate; dans *Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia*, R.G. Pike, T.E. Redding, R.D. Moore, R.D. Winkler et K.D. Bladon (éd.); *Land Management Handbook 66*, vol. 1, p. 47–84, <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Lmh/Lmh66/Lmh66_ch03.pdf>.
- Morrill, J.C., Bales, R.C. et Conklin, M.H. (2005) : Estimating stream temperature from air temperature : implications for future water quality; *Journal of Environmental Engineering*, vol. 131, n° 1, p. 139–146.
- Morrison, J., Foreman, M.G.G. et Masson, D. (2012) : A method for estimating monthly freshwater discharge affecting British Columbia coastal waters; *Atmosphere-Ocean*, vol. 50, n° 1, p. 1–8.
- Morrison, J., Quick, M.C. et Foreman, M.G.G. (2002) : Climate change in the Fraser River watershed : flow and temperature predictions; *Journal of Hydrology*, vol. 263, n° 1–4, p. 230–244.
- Mote, P.W. (2003) : Trends in snow water equivalent in the Pacific Northwest and their climatic causes; *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 12, art. 1601. doi :10.1029/2003GL017258
- Mote, P.W., Hamlet, A.F., Clark, M.P. et Lettenmaier, D.P. (2005) : Declining mountain snowpack in western North America; *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86, n° 1, p. 39–49.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2011a) : L'enquête de 2010 sur la pêche récréative au Canada; *Pêches et Océans*, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/rec/can/2010/section4-fra.htm>>.
- MPO [Pêches et Océans Canada] (2011b) : État de l'océan Pacifique 2010; *Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de consultation scientifique, Avis scientifique 2011/032*, 23 p., <http://www.dfo-mpo.gc.ca/cas-sccs/Publications/SAR-AS/2011/2011_032-fra.pdf>.
- Munro, G. (2007) : Internationally shared fish stocks, the high seas, and property rights in fisheries; *Marine Resource Economics*, vol. 22, n° 4, p. 425–443.
- Nations Unies (1982) : Convention on the conservation and management of highly migratory fish stocks in the western and central Pacific Ocean; Nations Unies, Article 63(1).
- Nemcek, N., Ianson, D. et Tortell, P.D. (2008) : A high-resolution survey of DMS, CO₂, and O₂/Ar distributions in productive coastal waters; *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 22, n° 2, GB2009. doi :10.1029/2006GB002879
- Norton, J.G. et Mason, J.E. (2005) : Relationship of California sardine (*Sardinops sagax*) abundance to climate scale ecological changes in the California Current ecosystem; *California Cooperative Oceanic Fisheries*, vol. 46, p. 83–92.
- Nuttall, M. (2001) : Indigenous peoples and climate change research in the Arctic; *Indigenous Affairs*, vol. 4/01, p. 26–35, <http://www.iwgia.org/iwgia_files_publications_files/IA_4-01.pdf>.
- Okey, T.A., Alidina, H.M., Lo, V. et Jessen, S. (2014) : Effects of climate change on Canada's Pacific marine ecosystems : a summary of scientific knowledge; *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 24, n° 2, p. 519–599.
- Okey, T.A., Alidina, H.M., Montenegro, A., Lo, V. et Jessen, S. (2012) : Climate change impacts and vulnerabilities in Canada's Pacific marine ecosystems; *Canadian Parks and Wilderness Society-British Columbia Chapter (CPAWS BC) et World Wild Fund-Canada (WWF-Canada)*, Vancouver, «colombie-Britannique», 156 p., <http://awsassets.wwf.ca/downloads/climate_change_impacts_and_vulnerabilities_in_canadas_pacific_ecosystems.pdf>.
- Orsi, J.A., Harding, J.A., Pool, S.S., Brodeur, R.D., Haldorson, L.J., Murphy, J.M., Moss, J.H., Farley, E.V., Sweeting, R.M., Morris, J.F.T., Trudel, M., Beamish, R., Emmett, R.L. et Ferguson, E.A. (2007) : Epipelagic fish assemblages associated with juvenile Pacific salmon in neritic waters of the California Current and the Alaska Current; *American Fisheries Society Symposium*, vol. 57, p. 105–155.
- Overland, J.E. et Wang, M. (2007) : Future climate of the north Pacific Ocean; *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 88, n° 16, p. 178–182.
- Pauly, D. (2010) : If you didn't like overfishing, you sure won't like global warming (thème central du symposium); dans *Proceedings of the 62nd Meeting of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, Cumaná, Venezuela, novembre 2009, A. Acosta et L. Creswell (éd.); *Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, vol. 62, 6 p., <http://www.gcfi.org/proceedings/sites/default/files/procs/gcfi_62-3.pdf>.
- PCIC [Pacific Climate Impacts Consortium] (2013a) : Atmospheric rivers state of knowledge report; *Pacific Climate Impacts Consortium, Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique*, 16 p., <<http://www.pacificclimate.org/sites/default/files/publications/Atmospheric%20Report%20Final%20Revised.pdf>>.
- PCIC [Pacific Climate Impacts Consortium] (2013b) : Climate summary for South Coast Region – part of a series on the resource regions of British Columbia; *Pacific Climate Impacts Consortium, Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique*, 4 p., <http://www.pacificclimate.org/sites/default/files/publications/Climate_Summary-South_Coast.pdf>.
- PCIC [Pacific Climate Impacts Consortium] (2013c) : Climate summary for West Coast Region – part of a series on the resource regions of British Columbia; *Pacific Climate Impacts Consortium, Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique*, 4 p., <http://www.pacificclimate.org/sites/default/files/publications/Climate_Summary-West_Coast.pdf>.
- Peterman, R.M. et Dorner, B. (2011) : Fraser River sockeye production dynamics; *Commission d'enquête Cohen sur les déclins des populations de saumon rouge du fleuve Fraser, Rapport technique 10*, 134 p., <<http://www.watershed-watch.org/wordpress/wp-content/uploads/2011/07/Exh-748-Final.pdf>>.
- Peterman, R.M. et Dorner, B. (2012) : A widespread decrease in productivity of sockeye salmon populations in western North America; *Revue canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 69, n° 8, p. 1255–1260.
- Powell A.M. et Xu, J. (2011) : Abrupt climate regime shifts, their potential forcing and fisheries impacts; *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 1, n° 2, p. 33–47.
- Ralph, F.M. et Dettinger, M.D. (2012) : Historical and national perspectives on extreme west coast precipitation associated with atmospheric rivers during December 2010; *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, n° 6, p. 783–790.
- Rand, P.S., Hinch, S.G., Morrison, J., Foreman, M.G.G., MacNutt, M.J., Macdonald, J.S., Healey, M.C., Farrell, A.P. et Higgs, D.A. (2006) : Effects of river discharge, temperature, and future climates on energetics and mortality of adult migrating Fraser River sockeye salmon; *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 135, n° 3, p. 655–667.
- Reed, T., Schindler, D., Hague, M., Patterson, D., Meir, E., Waples, R. et Hinch, S. (2011) : Time to evolve? Potential evolutionary responses of Fraser River sockeye salmon to climate change and effects on persistence; *Plos One*, vol. 6, n° 6, art. e20380. doi :10.1371/journal.pone.0020380
- Reuter, K.E., Lotterhos, K.E., Crim, R.N., Thompson, C.A. et Harley, C.D.G (2011) : Elevated pCO₂ increases sperm limitation and risk of polyspermy in the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*; *Global Change Biology*, vol. 17, n° 7, p. 2512–2512.
- Richardson, G.R.A. et Otero, J. (2012) : Outils d'aménagement locaux pour l'adaptation aux changements climatiques; *Gouvernement du Canada, Ottawa*, 38 p., <http://publications.gc.ca/site/archivee Archived.html?url=http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/rnccan-ncan/M4-106-2012-fra.pdf>.
- Ries, J.B., Cohen, A.L. et McCorkle, D.C. (2009) : Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO₂-induced ocean acidification; *Geology*, vol. 37, n° 12, p. 1131–1134.
- Roberts, D.A. (2012) : Causes and ecological effects of resuspended contaminated sediments (RCS) in marine environments; *Environment International*, vol. 40, p. 230–243.
- Robinson, C.L.K. et Ware, D.M. (1999) : Simulated and observed response of the southwest Vancouver Island pelagic ecosystem to oceanic conditions in the 1990s; *Revue canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 56, n° 12, p. 2433–2443.
- Rodenhuis, D., Bennett, K.E., Werner, A.T., Murdock, T.Q. et Bronaugh, D. (2009) : Climate overview 2007 : hydro-climatology and future climate impacts in British Columbia; *Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC)*, Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, 132 p., <http://www.pacificclimate.org/sites/default/files/publications/Rodenhuis_ClimateOverview.Mar2009.pdf>.
- Rogers, L.A. et Schindler, D.E. (2011) : Scale and the detection of climatic influences on the productivity of salmon populations; *Global Change Biology*, vol. 17, n° 8, p. 2546–2558.
- Rogers-Bennett, L. (2007) : The ecology of *Strongylocentrotus franciscanus* and *Strongylocentrotus purpuratus*; *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, vol. 37, p. 393–425.
- Schiefer, E., Menounos, B. et Wheate, R. (2007) : Recent volume loss of British Columbian glaciers, Canada; *Geophysical Research Letters*, vol. 34, n° 16, art. L16503. doi :10.1029/2007GL030780
- Schiel, D.R., Steinbeck, J.R. et Foster, M.S. (2004) : Ten years of induced ocean warming causes comprehensive changes in marine benthic communities; *Ecology*, vol. 85, n° 7, p. 1833–1839.

- Schnorbus, M., Werner, A. et Bennett, K. (2014) : Impacts of climate change in three hydrologic regimes in British Columbia, Canada; *Hydrological Processes*, vol. 28, n° 3, p. 1170-1189.
- Sécurité publique Canada (2013) : Base de données canadienne sur les catastrophes (critères de recherche : lieu, Colombie-Britannique, type d'événement, tous les événements météorologiques, normalisation-indice des prix à la consommation, 2010); Sécurité publique Canada, <<http://bdc.securitepublique.gc.ca/srchpg-fra.aspx?dynamic=false>>.
- Selbie, D.T., Sweetman, J.N., Etherton, P., Hyatt, K.D., Rankin, D.P., Finney, B.P. et Smol, J.P. (2011) : Climate change modulates structural and functional lake ecosystem responses to introduced anadromous salmon; *Revue canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 68, n° 4, p. 675-692.
- Shabbar, A., Bonsal, B. et Khandekar, M. (1997) : Canadian precipitation patterns associated with the Southern Oscillation; *Journal of Climate*, vol. 10, n° 12, p. 3016-3027.
- Shaw, A.D., Lintern, D.G., Hill, P. et Houser, D. (2006) : Factors controlling tidal flat response to sea level rise : Roberts Bank, British Columbia, Canada; *Coastal Dynamics* 2005, p. 1-12. doi :10.1061/40855(214)40
- Shrestha, R.R., Schnorbus, M.A., Werner, A.T. et Berland, A.J. (2012) : Modelling spatial and temporal variability of hydrologic impacts of climate change in the Fraser River basin, British Columbia, Canada; *Hydrological Processes*, vol. 26, n° 12, p. 1840-1860.
- Smit, B. et Wandel, J. (2006) : Adaptation, adaptive capacity and vulnerability; *Global Environmental Change*, vol. 16, n° 3, p. 282-292.
- Snyder, M.A., Sloan, L.C., Daffenbaugh, N.S. et Bell, J.L. (2003) : Future climate change and upwelling in the California Current; *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 15, art. 1823. doi :10.1029/2003GL017647
- Stahl, K. et Moore, R.D. (2006) : Influence of watershed glacier coverage on summer streamflow in British Columbia, Canada; *Water Resources Research*, vol. 42, n° 6, art. W06201. doi :10.1029/2006WR005022
- Stahl, K., Moore, R.D., Shea, J.M., Hutchinson, D. et Cannon, A.J. (2008) : Coupled modelling of glacier and streamflow response to future climate scenarios; *Water Resources Research*, vol. 44, n° 2, art. W02422. doi :10.1029/2007WR005956
- Stewart, I.T. (2009) : Changes in snowpack and snowmelt runoff for key mountain regions; *Hydrological Processes*, vol. 23, n° 1, p. 78-94.
- Stewart, I.T., Cayan, D.R. et Dettinger, M.D. (2005) : Changes toward earlier streamflow timing across western North America; *Journal of Climate*, vol. 18, n° 8, p. 1136-1155.
- Stroomer, T. et Wilson, M. (2013) : British Columbia's fisheries and aquaculture sector, 2012 edition; rapport préparé par BC Stats à l'intention de Pêches et Océans Canada, 98 p., <http://www.bccstats.gov.bc.ca/aboutus/news/13-01-29/British_Columbia_s_Fisheries_and_Aquaculture_Sector.aspx>.
- Sumaila, U.R. (1999) : A review of game theoretic models of fishing; *Marine Policy*, vol. 23, n° 1, p. 1-10.
- Sumaila, U.R. (2013) : *Game Theory and Fisheries : Essays on the Tragedy of Free for All Fishing*; Routledge, Londres, Royaume-Uni, 178 p.
- Swanson, D. et Bhadwal, S., editors (2009) : *Creating Adaptive Policies : A Guide for Policy-making in an Uncertain World*; Institut international du développement durable, Energy and Resources Institute et le Centre de recherches pour le développement international, 168 p., <<http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/40245/1/IDL-40245.pdf>>.
- Thomas, D.S. et Twyman, C. (2005) : Equity and justice in climate change adaptation amongst natural-resource-dependent societies; *Global Environmental Change*, vol. 15, n° 2, p. 115-124.
- Thomson, R.E., Bornhold, B.D. et Mazzotti, S. (2008) : An examination of the factors affecting relative and absolute sea level in coastal British Columbia; *Rapports techniques canadiens sur l'hydrographie et les sciences océaniques* 260, 49 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/335209.pdf>>
- Trudel, M., Gillespie, G., Cosgrove, J. et Wing, B. (2006) : Warm water species in British Columbia and Alaska; dans *State of the Pacific Ocean 2005*; Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de consultation scientifique, Rapport sur l'état de l'océan 2006/2001, p. 53, <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/324625.pdf>>.
- Vadeboncoeur, N. (2014) : Knowing climate change : modeling, understanding and managing risk; thèse de doctorat, Université de British Columbia, Vancouver, Colombie-Britannique, 301 p., <<https://circle.ubc.ca/handle/2429/50777>>.
- Vadeboncoeur, N. (2015) : *British Columbia Coastal Geodata and Flood Planning Inventory*; Fraser Basin Council, Vancouver, Colombie-Britannique.
- Ville de Courtenay (2014) : Integrated flood management strategy; Ville de Courtenay, Flood Management Study, <<http://www.courtenay.ca/EN/main/departments/engineering/flood-management-study.html>>.
- Ville de Vancouver (1990) : *Clouds of change : final report of the City of Vancouver task force on atmospheric change*; Office of the City Clerk, Vancouver, Colombie-Britannique, 183 p.
- Wade, N.L., Martin, J. et Whitfield, P.H. (2001) : Hydrologic and climatic zonation of Georgia Basin, British Columbia; *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 26, n° 1, p. 43-70.
- Walker, I.J. et Sydenham, R. (2008) : Colombie-Britannique; 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. 329-386, <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch8_e.pdf>.
- Ward, J.V. (1992) : *Aquatic Insect Ecology, Biology and Habitat*; Wiley, New York, New York, 456 p.
- Ware, D.M. et Thomson, R.E. (2000) : Interannual to multidecadal timescale climate variations in the northeast Pacific; *Journal of Climate*, vol. 13, no. 18, p. 3209-3220.
- Webb, B.W., Hannah, D.M., Moore, R.D., Brown, L.E. et Nobilis, F. (2008) : Recent advances in stream and river temperature research; *Hydrological Processes*, vol. 22, n° 7, p. 912-918.
- Weinstein, M.S. et Morrell, M. (1994) : Need is not a number : report of the Kwakiutl marine food fisheries reconnaissance survey; Kwakiutl Territorial Fisheries Commission, Campbell River, Colombie-Britannique, 113 p.
- Welch, D.W., Ishida, Y. et Nagasawa, K. (1998) : Thermal limits and ocean migrations of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) : long term consequences of global warming; *Revue canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 55, n° 4, p. 937-948.
- Wenzel, G.W. (1991) : *Animal Rights, Human Rights : Ecology, Economy and Ideology in the Canadian Arctic*; University of Toronto Press, Toronto, Ontario, 206 p.
- Whitfield, P.H. et Taylor, E. (1998) : Apparent recent changes in hydrology and climate of coastal British Columbia; dans *Mountains to Sea : Human Interaction with the Hydrologic Cycle*, Proceedings of the Canadian Water Resources Association 51st Annual Conference, Victoria, Colombie-Britannique, p. 22-29.
- Whitney, F.A., Freeland, H.J. et Robert, M. (2007) : Persistently declining oxygen levels in the interior waters of the eastern subarctic Pacific; *Progress in Oceanography*, vol. 75, n° 2, p. 179-199.
- Widdicombe, S. et Spicer, J.I. (2008) : Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity : what can animal physiology tell us?; *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 366, n° 1-2, p. 187-197.
- Wing, B.L. (2006) : Unusual observations of fish and invertebrates from the Gulf of Alaska, 2004-2005; PICES Press, vol. 14, n° 2, p. 26-28.
- Wright, C.A., Dallimore, A., Thomson, R.E., Patterson, R.T. et Ware, D.M. (2005) : Late Holocene paleofish populations in Effingham Inlet, British Columbia, Canada; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 224, n° 4, p. 367-384.
- Yin, Y. (2001) : Designing an integrated approach for evaluating adaptation options to reduce climate change vulnerability in the Georgia Basin; *Ressources naturelles Canada*, 50 p., <http://act-adapt.org/wp-content/uploads/2012/10/evaluating_adapt_Georgia_Basin.pdf>.
- Young, N. (2006) : New economic spaces and practices in coastal British Columbia; thèse de doctorat, Université de British Columbia, Vancouver, Colombie-Britannique, 298 p., <<http://circle.ubc.ca/handle/2429/18501>>.
- Zacherl, D., Gaines, S.D. et Lonhart, S.I. (2003) : The limits to biogeographical distributions : insights from the northward range extension of the marine snail, *Kelletia kelletii* (Forbes, 1852); *Journal of Biogeography*, vol. 30, n° 6, p. 913-924.
- Zhai L., Greenan, B., Hunter, J., James, T.S., Han, G., Thomson, R. et MacAulay, P. (2014) : Estimating sea-level allowances for the coasts of Canada and the adjacent United States using the Fifth Assessment Report of the IPCC; *Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques*, vol. 300, 146 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/353519.pdf>>.

ANNEXE A

PRÉVISIONS DU NIVEAU DE LA MER À DES ENDROITS CHOISIS DE LA RÉGION DE LA CÔTE OUEST

Les changements prévus dans niveau relatif de la mer jusqu'en 2100 sont indiqués ici pour 19 endroits, montrés sur la carte jointe (figure A1), pour la région de la côte Ouest (selon James *et al.*, 2014, sous presse; section 2.4 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.*, 2013a, b) et ont été produites en tenant compte du déplacement vertical de la croûte terrestre tiré d'observations GPS.

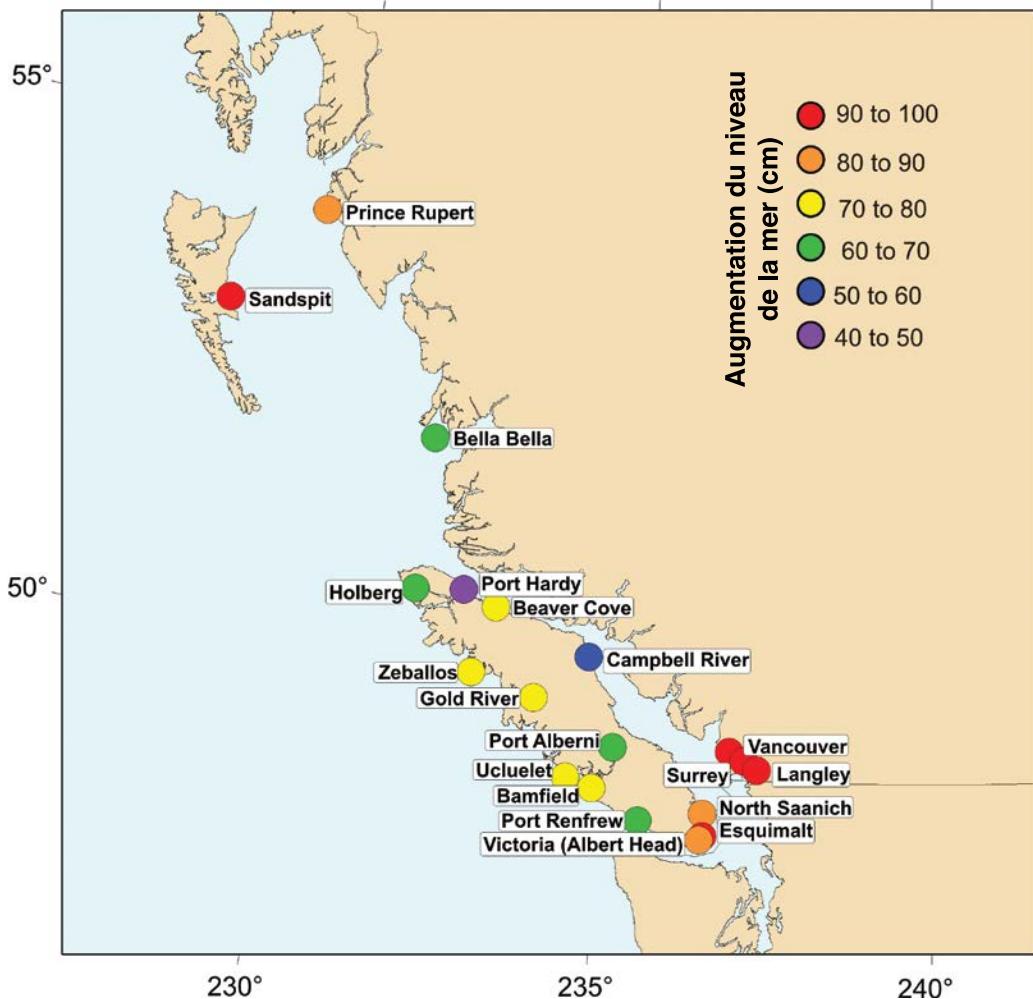


FIGURE A1 : Endroits pour lesquels les prévisions du niveau de la mer sont fournies pour tout le XXI^e siècle (figure A2). Les points sont chromocodés de façon à indiquer le changement prévu du niveau de la mer en 2100 pour le 95^e centile du scénario à émissions élevées (RCP8.5: selon James *et al.*, 2014, sous presse).

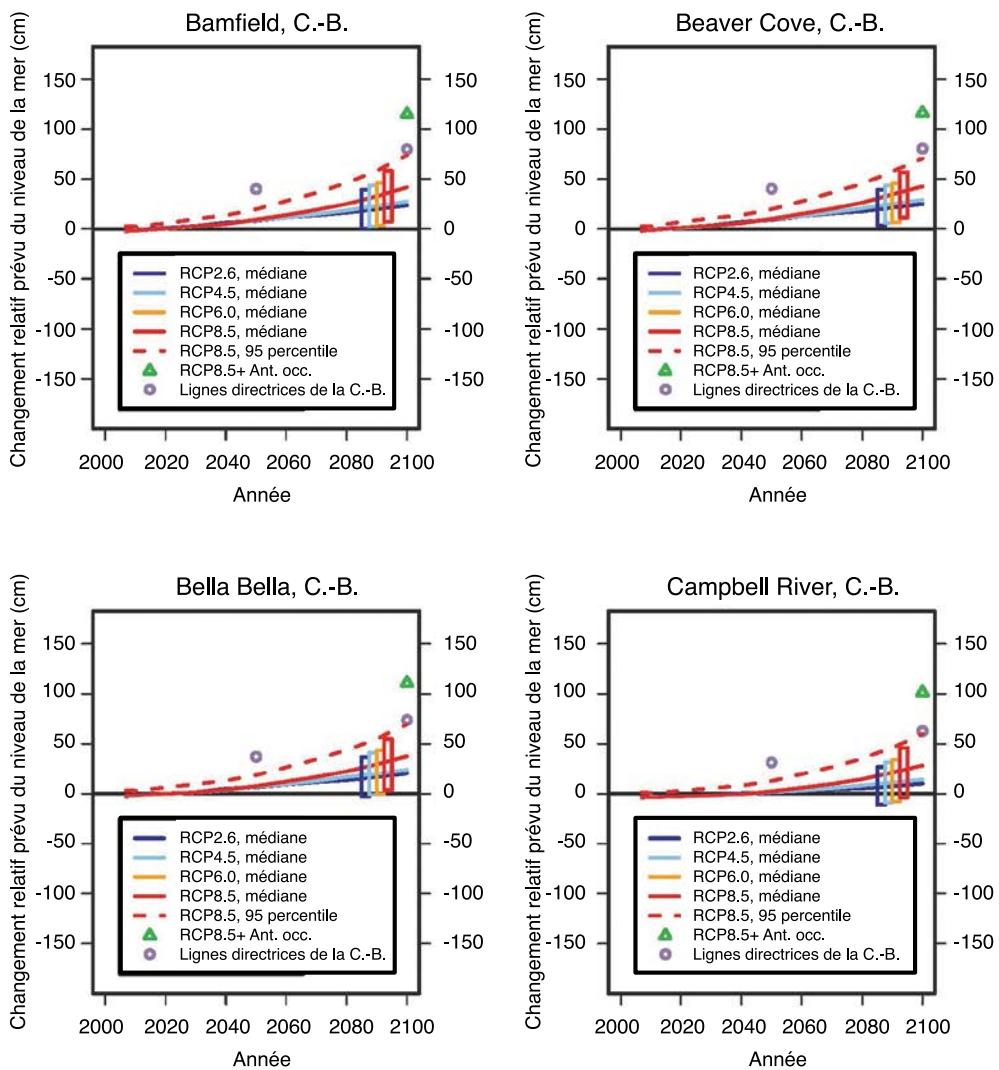
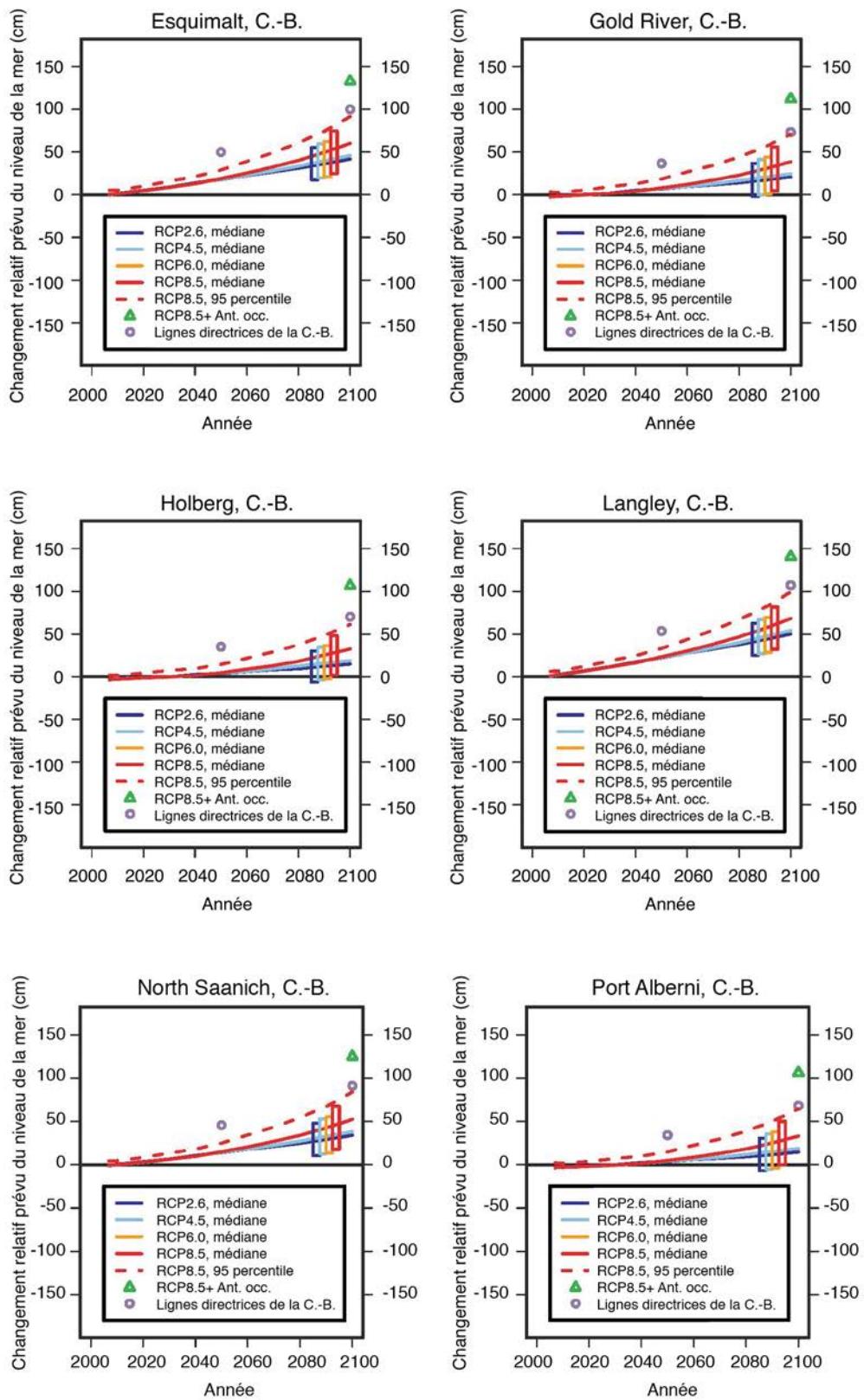
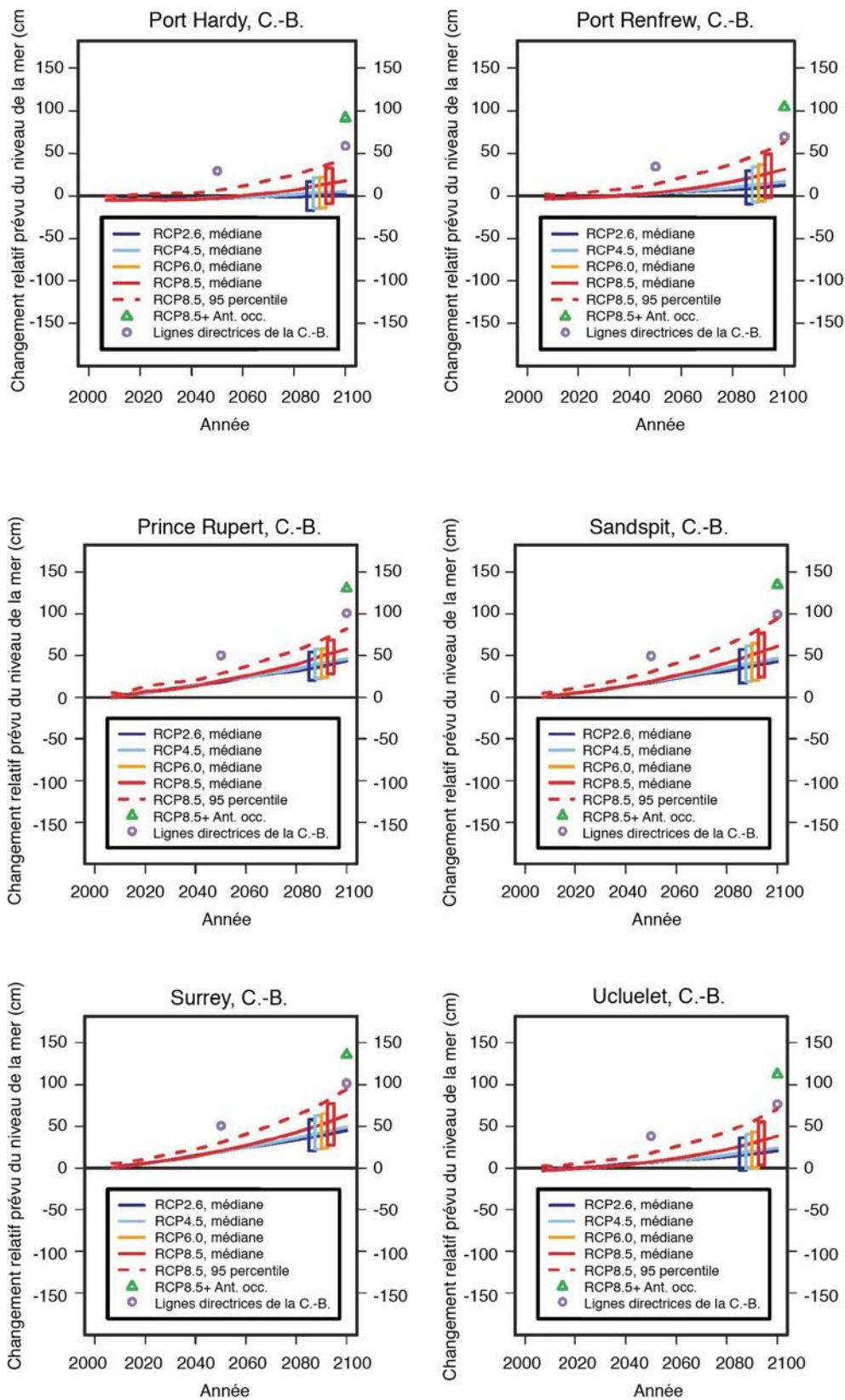


FIGURE A2 : Changement prévu du niveau relatif de la mer pendant tout le XXI^e siècle à des endroits choisis dans la région de la côte Ouest (selon James et al., 2014, sous presse). Le RCP2.6 est le scénario à émissions faibles, le RCP4.5 est un scénario à émissions modérées et le RCP8.5 est le scénario à émissions élevées. La valeur prévue pour 2100 est également indiquée pour le scénario à émissions élevées plus la réduction de l'inlandsis de l'Antarctique dans lequel l'Antarctique occidental apporte une contribution supplémentaire de 65 cm à la valeur moyenne 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 pour la période s'étendant de 2081 à 2100 et comprennent le RCP6.0. La ligne pointillée rouge indique la valeur du 95^e centile pour le scénario à émissions élevées. Les provisions pour l'élévation du niveau de la mer (BC Guidance) spécifiées par le gouvernement de la Colombie-Britannique sont aussi indiquées (Ausenco Sandwell, 2011b).

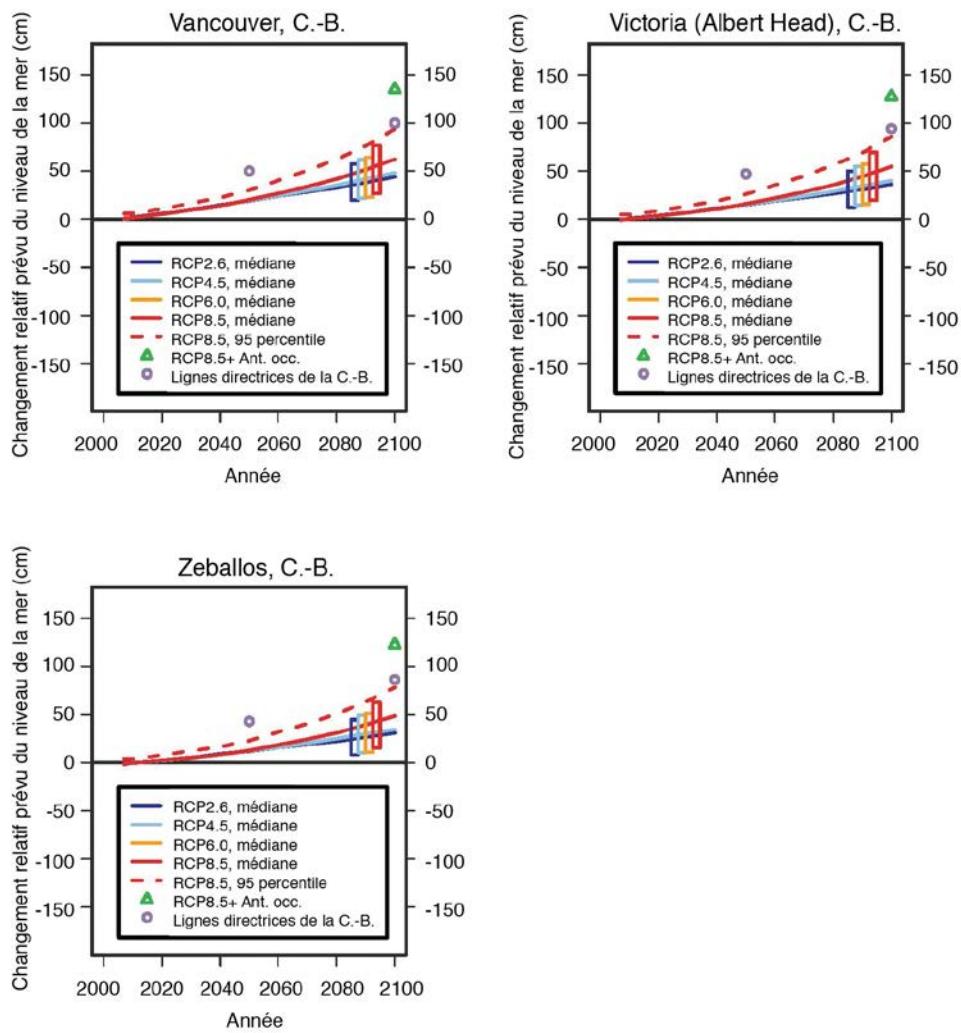
suite à la page suivante



suite à la page suivante



suite à la page suivante



CHAPITRE 7 : FOIRE AUX QUESTIONS

Rédacteurs :

Fiona J. Warren et Donald S. Lemmen (Ressources naturelles Canada)

Notation bibliographique recommandée :

Warren, F.J. et D.S. Lemmen « Foire aux questions », 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, 2016, p. 257–280.

TABLE DES MATIÈRES

NOTE DE LA RÉDACTION	259
FAQ 1 : QU'EST-CE QU'UNE ÉVALUATION CÔTIÈRE, ET POURQUOI ET COMMENT LE PRÉSENT RAPPORT A-T-IL ÉTÉ PRODUIT?	259
FAQ 2 : QU'EST-CE QUE L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET QUEL LIEN CELA A-T-IL AVEC L'ATTÉNUATION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES?	260
FAQ 3 : QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ENTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET UN CHANGEMENT DANS LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES?	261
FAQ 4 : LES RÉCENTS PHÉNOMÈNES EXTRÊMES CONSTATÉS DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES SONT-ILS ATTRIBUABLES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES?	262
FAQ 5 : COMMENT LE CLIMAT CHANGERÀ-T-IL DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES DU CANADA, ET COMMENT CES PRÉVISIONS SONT-ELLES DÉTERMINÉES?	263
FAQ 6 : COMMENT LE NIVEAU DE LA MER CHANGERÀ-T-IL AU CANADA ET COMMENT DÉTERMINE-T-ON LE CHANGEMENT PRÉVU?	266
FAQ 7 : QUELLE INCIDENCE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER AURONT-ILS SUR LES ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS?	268
FAQ 8 : QUEL SERA L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES SECTEURS DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES?	270
FAQ 9 : QUE FAIT-ON POUR S'ADAPTER AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES DU CANADA?	272
FAQ 10 : QUI EST RESPONSABLE DE L'ADAPTATION DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES?	274
FAQ 11 : COMMENT LES COÛTS DES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SE COMPARENT-ILS AUX COÛTS DE L'ADAPTATION?	276
FAQ 12 : OÙ PUIS-JE TROUVER DES RESSOURCES SUPPLÉMENTAIRES SUR L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES?	278

NOTE DE LA RÉDACTION

Ce chapitre présente une série de questions souvent posées (Foire aux questions ou FAQ) concernant la compréhension des impacts des changements climatiques et de l'adaptation aux changements climatiques dans les régions côtières du Canada. Les chapitres régionaux établissent clairement que le climat évolue, les régions côtières connaissant des changements dans la température de l'air et de l'eau, dans les schémas de précipitation, dans les tempêtes, dans le niveau de la mer et dans la couverture de glace de mer. Les impacts de ces changements sur les écosystèmes, les collectivités et les secteurs différeront à l'intérieur des régions et entre elles en raison d'un certain nombre de facteurs, comme la nature du littoral, la présence de protections naturelles et bâties (p. ex. plages, marais, ouvrages longitudinaux, digues et digues à la mer) et la capacité d'adaptation.

Ces FAQ visent à fournir des réponses concises aux questions que posent les décideurs qui cherchent à mieux comprendre les répercussions des changements climatiques au niveau des régions côtières du Canada. Elles ne sont pas complètes et ne fournissent pas d'explications détaillées. Elles s'efforcent plutôt de souligner des exemples pertinents et d'encourager les lecteurs à consulter les chapitres complets du volume *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, de même que les ressources énumérées à la FAQ 12, pour obtenir de plus amples renseignements.

FAQ 1 : QU'EST-CE QU'UNE ÉVALUATION CÔTIÈRE, ET POURQUOI ET COMMENT LE PRÉSENT RAPPORT A-T-IL ÉTÉ PRODUIT?

Auteure : Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada)

Les évaluations scientifiques sont des synthèses des renseignements existants, réalisées en vue de présenter l'état des connaissances sur des enjeux particuliers. La présente évaluation côtière, *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, met l'accent sur les impacts des changements climatiques et l'adaptation aux changements climatiques dans les régions côtières maritimes du Canada. Tenant compte à la fois de l'environnement naturel et de l'environnement bâti, le rapport vise à fournir des réponses à des questions comme « De quelle façon le climat change-t-il dans les régions côtières? », « Quelle incidence ces changements ont-ils sur le trait de côte physique, les collectivités, les écosystèmes et les secteurs économiques? » et « Comment les Canadiens s'adaptent-ils à ces changements afin de réduire les risques ou de profiter des possibilités éventuelles? ».

Les rapports d'évaluation visent à être pertinents eu égard à des enjeux stratégiques (c.-à-d. aborder des questions préoccupantes pour les décideurs) mais pas à imposer des politiques. Ainsi, la présente évaluation ne fait état d'aucune recommandation stratégique et ne prescrit aucune mesure particulière; elle met plutôt en lumière le savoir qui servira de base à la prise de décisions éclairées. Les évaluations scientifiques antérieures qui complètent le présent rapport comprennent les publications canadiennes suivantes : *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation* (2014) et *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* (2008; figure 1), ainsi que des rapports internationaux comme ceux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Dans le présent rapport, *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, les principaux chapitres présentent les perspectives régionales (Est, Nord et Ouest). Dans ces chapitres, les auteurs décrivent les régions puis discutent des changements observés et prévus au niveau du climat, de même que des risques, des possibilités et des approches d'adaptation liés au climat. Les chapitres secondaires — « Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation » (chapitre 2) et « Le défi côtier » (chapitre 3) — mettent en contexte les discussions régionales en présentant des aperçus à l'échelle nationale d'enjeux comme la diversité des côtes maritimes, le changement du niveau de la mer et les approches d'adaptation. Dans tous les cas, le contenu du chapitre reflète les renseignements disponibles et accessibles alors que l'avis d'expert des équipes d'auteurs apporte une valeur ajoutée au sommaire des connaissances existantes.

L'objectif premier du rapport est de fournir une source de renseignements fiable et à jour qui éclaire le processus décisionnel, la planification et l'élaboration de politiques :

- en décrivant l'état actuel des connaissances pertinentes relatives à la façon dont les changements climatiques touchent actuellement et continueront de porter atteinte à l'environnement naturel et bâti dans les régions côtières maritimes du Canada;
- en consolidant l'information pertinente au processus de prise de décisions en matière d'adaptation dans les régions côtières, y compris l'expérience acquise avec les mesures d'adaptation pratiques.

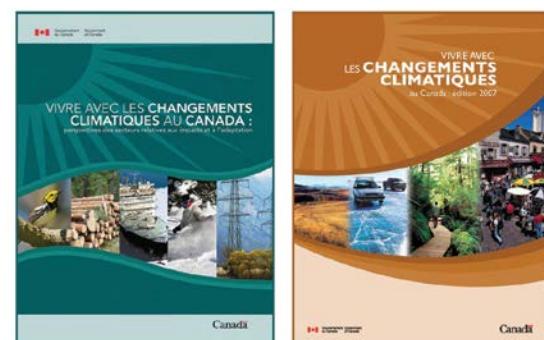


FIGURE 1 : Évaluations scientifiques canadiennes récentes sur les impacts des changements climatiques et l'adaptation aux changements climatiques.

La préparation de l'évaluation côtière a exigé les contributions d'une équipe de réviseurs, de 12 auteurs principaux et de 44 auteurs collaborateurs. Les travaux ont été supervisés par un Comité consultatif de 14 personnes comprenant des experts et des spécialistes pluridisciplinaires issus des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, du milieu universitaire et du secteur privé. Ce comité a participé à tout le processus d'évaluation, y compris à la planification initiale de façon à garantir que le rapport répondait aux bonnes questions et était organisé de manière à répondre aux besoins en matière d'information des décideurs. Au cours du processus de rédaction, les auteurs ont rassemblé, évalué et résumé des renseignements issus de revues universitaires, de rapports et de présentations de même que des connaissances locales et des connaissances de spécialistes en vue de produire l'ébauche des chapitres. Les ébauches révisées ont été examinées par des experts dans le domaine (74 au total pour le rapport). Les auteurs des chapitres ont alors utilisé les quelque 2500 commentaires reçus dans le cadre de ce processus d'examen pour rédiger leur ébauche finale.

FAQ 2 : QU'EST-CE QUE L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET QUEL LIEN CELA A-T-IL AVEC L'ATTÉNUATION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES?

Auteure : Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada)

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) définit l'adaptation comme « le processus d'ajustement au climat réel ou prévu et à ses effets » [traduction] (GIEC, 2012). L'adaptation exige d'apporter des changements à nos activités et à nos décisions afin de réduire les préjudices causés par les impacts négatifs des changements climatiques et de profiter de tout impact positif. Ainsi, l'adaptation est un concept général qui englobe une grande variété d'actions possibles. Ces actions peuvent être aussi simples que l'installation de valves d'arrêt dans les maisons afin de réduire le risque de refoulement d'égout entraînant une inondation du sous-sol lors des fortes pluies, ou aussi complexes que la planification et la mise en œuvre d'une stratégie de protection du littoral afin de réduire les risques d'inondation causée par l'élévation du niveau de la mer. Peu importe l'échelle, l'adaptation est entreprise afin d'aider à garantir que nos vies, nos collectivités et notre économie soient mieux préparées aux changements climatiques, maintenant comme à l'avenir.

Sans une planification minutieuse, le risque de mauvaise adaptation augmente. La mauvaise adaptation désigne les mesures qui mènent à une augmentation plutôt qu'à une diminution de la vulnérabilité.

Même si l'adaptation peut être entreprise spontanément en réaction à des événements particuliers, comme des phénomènes météorologiques extrêmes, le présent rapport, *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, met l'accent sur l'adaptation planifiée, qui comprend la modification des activités, l'introduction de nouvelles technologies, la modification des lignes directrices et des approches en matière de planification de même que la révision des pratiques, des règlements et des lois en matière d'investissement. Ces changements exigent souvent une planification et une collaboration minutieuses guidées à la fois par la recherche scientifique et par une solide compréhension des systèmes touchés. Ils dépendent en outre de la capacité locale et de la disponibilité des ressources. Nombre des approches d'adaptation abordées dans le présent rapport visent à composer avec l'élévation du niveau de la mer et comprennent des mesures susceptibles de réduire les risques d'inondation. Toutefois, l'adaptation dans les régions côtières exige également de gérer d'autres impacts, comme le réchauffement des températures, la modification des schémas de précipitation, la réduction de la glace de mer et les changements au niveau de l'hydrologie continentale (p. ex. écoulement des rivières), ainsi que de composer avec le risque de manifestation de phénomènes météorologiques extrêmes, comme les ouragans et les autres grosses tempêtes.

L'adaptation est un complément nécessaire à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (atténuation) lorsqu'il s'agit de réagir aux changements climatiques. Les mesures d'atténuation diminuent la quantité de gaz à effet de serre qui entrent dans l'atmosphère de deux manières. La première est de parvenir à réduire les émissions de dioxyde de carbone, de méthane, d'oxyde d'azote et d'autres gaz à effet de serre, et la seconde consiste à mettre en place des mesures qui permettent d'améliorer les puits de gaz à effet de serre, comme les forêts et les terres humides. L'atténuation réduit à la fois l'ampleur et la rapidité des changements climatiques. Par exemple, les scénarios étudiés par le GIEC dans son plus récent rapport d'évaluation semblent indiquer que, pour la période de 2081 à 2100, la température moyenne mondiale à la surface pourrait augmenter de moins de 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels grâce à des mesures d'atténuation radicales, mais pourrait également augmenter de plus de 4,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels en cas d'efforts d'atténuation très limités. En fonction de ces mêmes scénarios, la plage probable d'élévation du niveau mondial de la mer est de 26 à 82 cm pour la période de 2081 à 2100. Par conséquent, l'importance et la quantité des mesures d'adaptation nécessaires dépendent de la réussite des efforts d'atténuation. Sans efforts visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, certains systèmes naturels et gérés seraient submergés et incapables de s'adapter. Des mesures d'atténuation rigoureuses et couronnées de succès donneront plus de temps pour planifier et mettre en œuvre les mesures d'adaptation, puisque le changement se produira de manière plus graduelle et moins marquée.

Ces deux réactions aux changements climatiques peuvent engendrer des avantages connexes, ou des synergies, lorsque les mesures prises pour s'adapter servent également à réduire les émissions de gaz à effet de serre, ou lorsque les mesures d'atténuation réduisent également le degré de vulnérabilité aux changements climatiques (Figure 2). Par exemple, les toits verts (soit la pratique consistant à

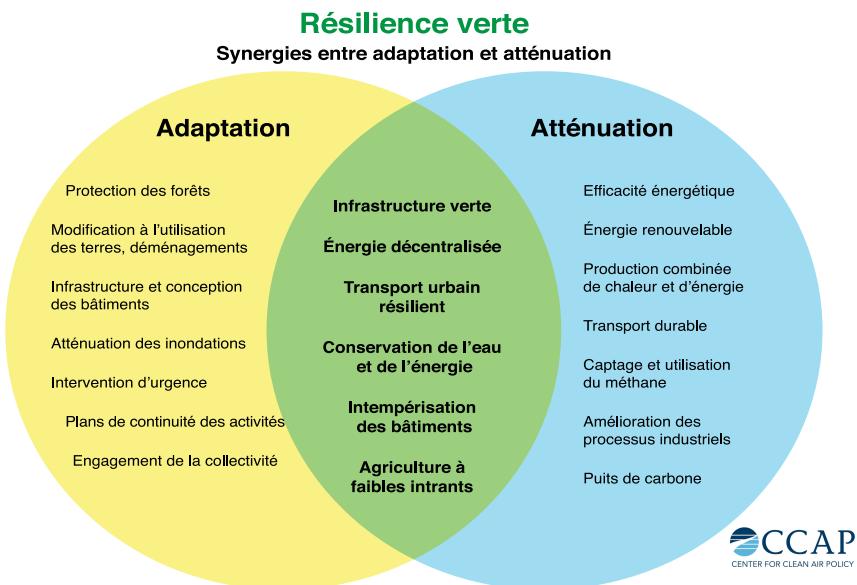


FIGURE 2 : Exemples d'adaptation, d'atténuation et de chevauchement entre les deux approches. Image gracieuseté de Centre for Clean Air Policy, 2016.

planter et entretenir de la végétation sur les toitures des bâtiments) présentent à la fois des avantages en matière d'adaptation (p. ex. atténuation de l'écoulement des eaux pluviales, réduction de l'effet d'îlot thermique urbain et amélioration de la qualité de l'air) et une valeur d'atténuation (p. ex. réduction de la consommation d'énergie, réduction des émissions de gaz à effet de serre et amélioration de l'absorption de dioxyde de carbone). Il existe toutefois une possibilité de conflit entre l'adaptation et l'atténuation, lorsque les choix en matière d'adaptation peuvent engendrer une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. L'emploi de climatiseurs pour composer avec l'augmentation de la température, par exemple, est associé à une augmentation de la consommation d'énergie et des émissions afférentes. Ces exemples soulignent la nécessité d'avoir recours à des réponses stratégiques coordonnées.

RÉFÉRENCE

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2012) : Glossary of Terms; dans *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor et P.M. Midgley (éd.); rapport spécial des Groupes de travail I et II du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 555–564.

FAQ 3 : QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ENTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET UN CHANGEMENT DANS LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES?

Auteur : Kevin Anderson (Environnement Canada)

La météo désigne l'état de l'atmosphère à un moment donné. Par exemple, à un moment donné d'une journée donnée à Halifax, il peut faire 20 °C et le ciel peut être ensoleillé avec des vents qui soufflent de l'est. Mais ces conditions ne seront probablement pas les mêmes 12 heures plus tard ou dans six mois. La météo change constamment — au cours d'une même journée et d'une saison à l'autre. Il s'agit d'une conséquence normale de l'état perpétuellement changeant de l'atmosphère et de l'océan.

On peut penser au climat comme à la « météo moyenne ». De manière plus rigoureuse, on peut définir le climat comme étant l'expression statistique des conditions météorologiques, y compris la moyenne et la variabilité, sur une période variant de quelques saisons à des décennies, voire des milliers d'années. Lorsque deux zones distinctes connaissent des conditions météorologiques moyennes différentes à long terme, on dit qu'elles ont des climats différents. Par exemple, la majeure partie de l'Australie ne reçoit habituellement pas de neige et ses étés peuvent être très chauds. Ces conditions sont très différentes de la météo que nous connaissons généralement au Canada, alors nous disons que le Canada a un climat différent de l'Australie. Même à l'intérieur du Canada, on peut dire que Toronto a un climat différent de Vancouver (en raison des étés généralement plus secs et des hivers généralement beaucoup plus humides et doux de Vancouver) même si, à un moment particulier, ces deux villes peuvent connaître une météo semblable.

Le climat de la Terre varie d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre. Par exemple, certains hivers sont plus froids et ont plus de neige que d'autres, alors que certains étés sont plus chauds et plus secs que d'autres. On appelle cela la variabilité naturelle du climat et

cela se produit à l'échelle mondiale, régionale et locale. En plus de cette variabilité naturelle du climat, toutefois, le régime climatique général de la Terre a changé en raison de la quantité croissante de gaz à effet de serre rejetés dans l'atmosphère.

L'augmentation de la température moyenne mondiale (connue sous le nom de « réchauffement planétaire »; figure 3) n'est qu'un indicateur de l'ampleur du changement dans le climat que subit la Terre. Beaucoup d'autres changements sont également associés à ce réchauffement du climat, comme les schémas de précipitation changeants, la fonte généralisée de la neige et de la glace, le dégel du pergélisol et l'augmentation de la fréquence de certaines conditions météorologiques rigoureuses partout dans le monde (GIEC, 2013). Afin de parvenir à une meilleure compréhension de la façon qu'évolue le climat, les chercheurs étudient les changements totaux sur une période donnée (p. ex. à des échelles temporelles variant de décennies à des siècles, voire même plus) de même que la manière dont chaque indicateur du régime climatique (p. ex. température, pluie, neige) change d'une saison ou d'une année à l'autre à l'intérieur de cette période plus longue.

À mesure que le climat change, les conditions météorologiques générales changent aussi. Cela signifie que nous pouvons connaître des conditions météorologiques moyennes différentes de celles auxquelles nous étions habitués. Par exemple, une journée d'hiver que nous estimons aujourd'hui comme étant très froide dans différentes parties du Canada n'est généralement pas aussi froide ni aussi fréquente qu'elle ne l'était il y a 50 ans. Ce phénomène est attribuable à l'augmentation de la température hivernale.

RÉFÉRENCE

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013) : 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, 1535 p., http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf.

FAQ 4 : LES RÉCENTS PHÉNOMÈNES EXTRÊMES CONSTATÉS DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES SONT-ILS ATTRIBUABLES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES?

Auteur : Kevin Anderson (Environnement Canada)

On peut s'attendre à ce que l'évolution du climat engendre des changements dans les extrêmes climatiques et météorologiques. Par exemple, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2013) a fait remarquer que le nombre de journées et de nuits chaudes et la fréquence des vagues de chaleur dans certaines parties du monde (de grandes parties de l'Europe, de l'Asie et de l'Australie) ont augmenté depuis environ 1950 et que les régions où le nombre de fortes précipitations au sol a augmenté sont plus nombreuses que les régions où ce nombre a diminué. Il est toutefois difficile d'associer un seul phénomène extrême à une cause particulière (comme l'augmentation des gaz à effet de serre) parce qu'un vaste éventail de phénomènes extrêmes pourrait se produire même dans un climat qui ne subit aucun changement, et parce que les phénomènes extrêmes sont habituellement provoqués par une combinaison de facteurs. Au moment de la publication du présent rapport, les phénomènes extrêmes constatés dans les régions côtières du Canada n'ont pas été attribués à une cause particulière. Malgré cela, il est possible de formuler un énoncé d'attribution sur un événement météorologique particulier en analysant comment une cause particulière peut avoir changé la probabilité d'occurrence ou l'ampleur de l'événement en question.

L'attribution de phénomènes extrêmes à des causes est un domaine de recherche actif au sein de la communauté scientifique mondiale. À l'échelle planétaire, beaucoup d'événements ont été étudiés de façon suffisamment rigoureuse pour déterminer s'il y a eu ou non influence humaine (Herring et al., 2014). Les études établissent clairement l'effet de l'influence humaine dans le cas de certains événements mais manquent de preuves à l'appui d'une telle influence dans le cas d'autres phénomènes. Par exemple, l'influence humaine peut avoir au moins doublé les probabilités qu'une vague de chaleur semblable à celle ayant sévi en Europe en 2003 se reproduise (Stott et al., 2004) et, bien que la variabilité naturelle du climat puisse engendrer une vague de chaleur de l'importance de celle de 2010 en Russie, les chances que cette vague de chaleur se produise ont été considérablement accrues par le biais de l'influence humaine (Otto et al., 2012).

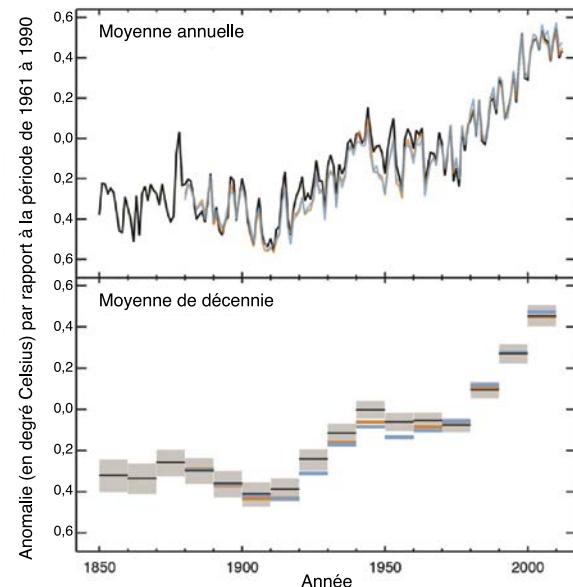


FIGURE 3 : Moyenne mondiale combinée des anomalies constatées dans la température à terre et à la surface de l'océan entre 1850 et 2012 (GIEC, 2013).

Les études sur les phénomènes météorologiques extrêmes au Canada ne portent que de façon générale sur le sujet. Par exemple, des changements dans certains extrêmes ont été indubitablement constatés dans de nombreuses régions du Canada : le nombre de journées et de nuits chaudes a augmenté alors que les extrêmes de froid (p. ex. le nombre de journées et de nuits froides) ont diminué (Wang et al., 2013). En ce qui concerne les extrêmes côtiers au Canada, les recherches démontrent que la hauteur extrême des vagues de surface dans l'Atlantique Nord a augmenté aux latitudes élevées (p. ex. la côte de Terre-Neuve et le Nord) mais a diminué aux latitudes moyennes (Wang et al., 2009). Cette tendance présente une réaction décelable à la combinaison d'influences anthropiques (p. ex. gaz à effet de serre) et naturelles (p. ex. éruption volcanique). Ces changements sont conformes aux changements attendus en raison de l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Si on se tourne vers l'avenir, on prévoit que les changements climatiques auront une incidence à la fois sur l'intensité et sur la fréquence de nombreux types de phénomènes extrêmes. Des modèles climatiques à la fine pointe de la technologie prévoient une augmentation des extrêmes de chaleur, une diminution des extrêmes de froid et une intensification du cycle hydrologique mondial qui engendrera des épisodes plus concentrés de pluie et de neige entrecoupés de périodes sèches plus longues, le tout associé à une augmentation des températures mondiales, attribuable à l'augmentation constante de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. À partir de ces constatations, nous pouvons nous attendre à ce que des changements au niveau de phénomènes extrêmes comme les vagues de chaleur, les fortes précipitations et les sécheresses se produisent.

RÉFÉRENCES

- Herring, S.C., Hoerling, M.P., Peterson, T.C. et Stott, P.A., éditeurs (2014) : Explaining extreme events of 2013 from a climate perspective; special supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 95, no 9, p. S1-S96, <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477-95.9.S1.1>>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013) : 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, 1535 p., <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf>.
- Otto, F.E.L., Massey, N., van Oldenborgh, G.J., Jones, R.G. et Allen, M.R. (2012) : Reconciling two approaches to attribution of the 2010 Russian heat wave; *Geophysical Research Letters*, vol. 39, no 4, <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011GL050422/full>>.
- Stott, P.A., Stone, D.A. et Allen, M.R. (2004) : Human contribution to the European heatwave of 2003; *Nature*, vol. 432, p. 610-614, <<http://www.nature.com/nature/journal/v432/n7017/abs/nature03089.html>>.
- Wang, X.L., Feng, Y. et Vincent, L.A. (2013) : Observed changes in one-in-20 year extremes of Canadian surface air temperatures; *Atmosphere-Ocean*, vol. 52, no 3, p. 222-231, <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07055900.2013.818526>>.
- Wang, X.L., Swail, V.R., Zwiers, F.W., Zhang, X. et Feng, Y. (2009) : Detection of external influence on trends of atmospheric storminess and northern oceans wave heights; *Climate Dynamics*, vol. 32, p. 189-203, <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00382-008-0442-2>>.

FAQ 5 : COMMENT LE CLIMAT CHANGERÀ-T-IL DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES DU CANADA, ET COMMENT CES PRÉVISIONS SONT-ELLES DÉTERMINÉES?

Auteur : Thomas James (Ressources naturelles Canada)

Pour comprendre les risques que posent les changements climatiques pour les côtes canadiennes, il faut entre autres disposer de renseignements sur les changements susceptibles de s'opérer au niveau des paramètres climatiques. Ces renseignements peuvent être obtenus de modèles informatiques complexes qui simulent le système climatique terrestre, en s'appuyant sur les observations de la variabilité climatique antérieure. Les extrants de ces modèles sont souvent abordés du point de vue des changements dans la température, les schémas de précipitation, l'étendue de la glace de mer et le niveau de la mer à l'échelle mondiale. Toutefois, la gestion des risques côtiers exige également d'acquérir des connaissances au niveau d'autres paramètres climatiques comme le vent, les vagues, le brouillard et le changement du niveau de la mer à l'échelle régionale (voir le chapitre 2). En général, le niveau de confiance qu'inspirent les changements climatiques prévus est le plus élevé en ce qui a trait aux prévisions touchant la température, est sensiblement moins élevé dans le cas des prévisions touchant les précipitations et le niveau de la mer, et est le plus faible en ce qui concerne les facteurs comme le vent, les vagues et le brouillard.

On prévoit que les températures de l'air au Canada augmenteront pendant tout le XXI^e siècle, les plus importantes augmentations ayant lieu en hiver (de décembre à février) et dans la région de la côte Nord. Si on dresse une moyenne à l'échelle pancanadienne pour la période s'étendant de 2081 à 2100, on prévoit que les températures hivernales augmenteront d'aussi peu que 1,5 à 3,4 °C dans le cas du scénario à émissions faibles (RCP2.6) jusqu'à une valeur de 7,2 à 10,8 °C dans celui du scénario à émissions élevées (RCP8.5), par rapport à la période de 1986 à 2005¹ (encadré 1; GIEC, 2013; Environnement Canada, 2015). Les augmentations prévues de la température sont généralement moins importantes pour les littoraux des régions de la côte Est et de la côte Ouest que celles pour les régions non côtières (figure 4a, b).

1 Les plages sont tirées des 25^e et 75^e centiles.

ENCADRÉ 1

MODÈLES ET SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Les prévisions climatiques sont produites à partir de modèles informatiques du climat fondés sur les lois physiques et chimiques fondamentales qui régissent le transfert et le déplacement de la chaleur (énergie) et de la masse à l'intérieur des composantes du système climatique et entre elles et qui sont évaluées en fonction des observations. Même si les premiers modèles (modèles de circulation générale ou MCG) mettaient l'accent sur l'atmosphère, les océans du monde jouent également un rôle essentiel au niveau du climat (p. ex. un dépôt de chaleur et de certains constituants de l'atmosphère). Par conséquent, des modèles de circulation des océans ont été mis au point et couplés aux MCG afin de mieux simuler le système climatique (modèles de circulation générale couplé atmosphère-océan ou AOGCM). Un modèle climatique mondial (MCM) contemporain est constitué d'un AOGCM et tient également compte des interactions de l'atmosphère avec la surface solide de la Terre, y compris le sol, la végétation et la cryosphère (glaciers et inlandsis, pergélisol, glace de mer et d'eau douce et neige). Des modèles de transport chimique peuvent également être couplés à un modèle climatique mondial en vue de mieux suivre, par exemple, l'itinéraire suivi par le carbone d'origine anthropique dans l'atmosphère et les océans ou le progrès de la réparation prévue du trou dans la couche d'ozone. Le modèle du système terrestre (MST) est un terme général servant à décrire les modèles informatiques qui ajoutent les processus biophysiques et géochimiques au système climatique physique couplé, ce qui leur permet donc, par exemple, de prévoir l'acidification des océans dans le cadre de la réaction du système climatique à l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre.

Les MCM et les MST utilisent des scénarios* des concentrations atmosphériques futures de gaz à effet de serre en vue de prévoir les changements au niveau du système climatique. Les prévisions** résumées dans le Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat étaient fondées sur quatre scénarios de profils représentatifs d'évolution de concentration (Representative Concentration Pathways ou RCP; voir le chapitre 2). Cela contraste avec le Quatrième rapport d'évaluation, qui s'appuyait sur les scénarios du *Rapport spécial sur les scénarios d'émissions* (*Special Report on Emissions Scenarios* ou SRES). Les prévisions rapportées dans le Cinquième rapport d'évaluation et dans le présent rapport découlent d'une comparaison et d'une synthèse internationales des prévisions des modèles climatiques, appelée le projet d'intercomparaison de modèles couplés, phase 5 (Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5 ou CMIP5). La contribution canadienne aux modèles du CMIP5 a été fournie par la seconde génération du modèle du système terrestre canadien (Canadian Earth System Model ou CanESM2), mis au point par le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique d'Environnement Canada.

Environnement Canada offre un service Web, le « Réseau canadien des scénarios de changements climatiques », qui fournit des cartes, des tracés et des tableaux des changements prévus dans la température et les précipitations pour le Canada (Environnement Canada, 2015). Les valeurs comprennent les valeurs médianes prévues ainsi que les valeurs des 25^e et 75^e centiles, ce qui donne un indice du degré d'incertitude accompagnant ces prévisions. L'information est disponible pour différentes périodes et des statistiques sommaires sont disponibles pour les provinces et les territoires. On peut accéder au service à l'adresse <http://ccds-dscc.ec.gc.ca/?page=main>. Les prévisions du Cinquième rapport d'évaluation sont disponibles dans le menu CMIP5. Un guide à l'intention des spécialistes de l'adaptation sur la manière d'utiliser les prévisions climatiques (Charron, 2014) est disponible à l'adresse http://www.ouranos.ca/media/publication/351_GuideCharron_FR.pdf.

* Un scénario est une « description vraisemblable de ce qui peut se produire à l'avenir, fondée sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène d'hypothèses concernant les principales relations et forces motrices en jeu (p. ex. rythme des changements technologiques, prix). Il est à remarquer que les scénarios ne sont ni des prédictions, ni des prévisions, mais sont utiles puisqu'ils fournissent un aperçu des répercussions des développements et des actions. » [traduction] (GIEC, 2014).

* Une prévision climatique est la réaction simulée du système climatique à un scénario d'émissions ou de concentrations futures de gaz à effet de serre et d'aérosols, généralement élaborées à partir de modèles climatiques (GIEC, 2014).

On prévoit que les précipitations au Canada augmenteront dans la plupart des régions et des saisons, à l'exception notable de certaines parties du sud du Canada en été, où l'on prévoit peu de changement ou une diminution des précipitations. Les plus importantes augmentations prévues des précipitations en pourcentage auront lieu dans la région de la côte Nord en hiver. Ici, on prévoit une augmentation des précipitations médianes de 10 à 30 % pour le scénario à émissions faibles et de plus de 50 % dans la majeure partie de la région pour le scénario à émissions élevées entre 2081 et 2100, par rapport aux niveaux de 1986 à 2005 (figure 4c, d). On prévoit des changements absolus plus importants dans les précipitations (exprimés en quantité réelle plutôt qu'en pourcentage) dans les régions de la côte Est et de la côte Ouest, par comparaison avec la région de la côte Nord.

Les prévisions régionales des températures des océans sont moins certaines, mais on s'attend à ce que les températures moyennes augmentent dans le kilomètre supérieur de l'océan dans tous les scénarios et à toutes les latitudes d'ici la fin du siècle (Collins et al., 2013). Une diminution prévue de la superficie maximale de la glace de mer (figure 4e, f; voir les chapitres 2, 4 et 5) est liée à l'augmentation des températures de l'air et de l'eau des océans. On prévoit également que le moment de l'engellement (apparition de la glace de mer) sera retardé. On prévoit que l'océan Arctique sera essentiellement libre de glaces au moment de l'étendue de glace minimale (septembre) d'ici le milieu du siècle (GIEC, 2013).

On s'attend à ce qu'une diminution du nombre de phénomènes météorologiques extrêmes par temps froid et une augmentation du nombre de phénomènes météorologiques extrêmes par temps chaud accompagnent les augmentations de température prévues, même si le nombre d'événements variera selon les régions. La variabilité et la dynamique naturelles du climat jouent un rôle important dans la détermination des phénomènes extrêmes. L'oscillation australe El Niño (El Niño/Southern Oscillation ou ENSO) et l'oscillation décennale du Pacifique (ODP) apportent une contribution importante aux phénomènes extrêmes dans la région de la côte Ouest (voir les chapitres

2 et 6). Les augmentations prévues du nombre de phénomènes extrêmes associés à l'ENSO (Cai et al., 2014) peuvent contribuer à une augmentation des phénomènes de niveau d'eau extrême dans la région de la côte Ouest (Barnard et al., 2015). On s'attend à une augmentation de l'activité orageuse à l'échelle mondiale à l'avenir. Toutefois, l'activité orageuse à un endroit particulier peut augmenter ou non, selon sa position relative aux régions sources de tempêtes et aux itinéraires des tempêtes. Les prévisions de l'activité orageuse et des ondes de tempête connexes propres à une région inspirent un faible niveau de confiance (voir le chapitre 2; GIEC, 2013).

À l'échelle mondiale, la vitesse du vent et la hauteur des vagues ont augmenté au cours des dernières décennies (Young et al., 2011). Dans la majeure partie de l'Arctique, y compris dans la mer de Beaufort, on prévoit que la hauteur des vagues

augmentera à l'avenir en raison des effets combinés des vents et de la diminution de la concentration de glace de mer (voir le chapitre 2; Khon et al., 2014). On s'attend également à une augmentation de la hauteur des vagues en hiver dans certaines parties de la région de la côte Est, augmentation associée à la diminution de la concentration de glace de mer au cours des décennies à venir. Les vagues plus grosses ont tendance à avoir un pouvoir d'érosion plus important.

Il y a très peu de doute que l'élévation prévue du niveau relatif moyen de la mer (FAQ 6) et la diminution de la glace de mer entraîneront une augmentation de la fréquence et de l'importance des niveaux d'eau extrêmes (GIEC, 2013) dans certaines parties de la région de la côte Est et du littoral de la mer de Beaufort. La région de la côte Ouest est également susceptible à l'augmentation du nombre de phénomènes de niveau d'eau extrême découlant de l'élévation prévue du niveau de la mer.

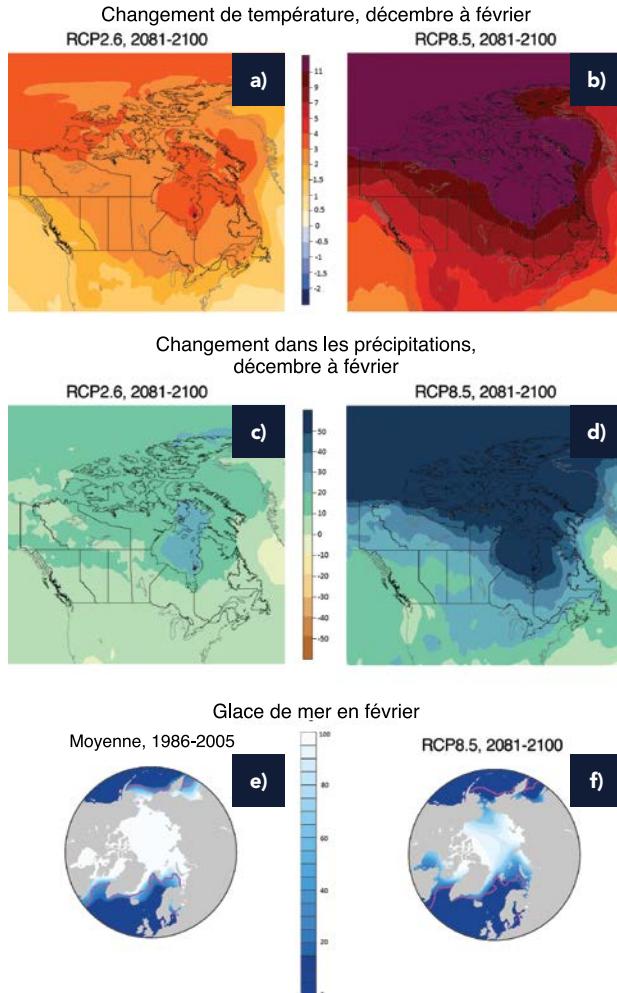


FIGURE 4 : Changements prévus de la température médiane au cours des mois d'hiver en fonction des scénarios **a)** à émissions faibles; et **b)** à émissions élevées pour la période de 2081 à 2100, par rapport à la période de 1986 à 2005 (GIEC, 2013; Environnement Canada, 2015). Changements prévus des précipitations médianes au cours des mois d'hiver en fonction des scénarios **c)** à émissions faibles et **d)** à émissions élevées pour la période de 2081 à 2100, par rapport à la période de 1986 à 2005 (GIEC, 2013; Environnement Canada, 2015). Étendue observée **e)**; moyenne pour la période de 1986 à 2005 et prévue **f)**; scénario à émissions élevées pour la période de 2081 à 2100 de la glace de mer dans l'Arctique en février (tiré de Collins et al., 2013, figure 12.29). La ligne rouge représente la limite de concentration de 15 % notée pendant la période de 1986 à 2005.

RÉFÉRENCES

- Barnard, P.L., Short, A.D., Harley, M.D., Splinter, K.D., Vitousek, S., Turner, I.L., Allan, J., Banno, M., Bryan, K.R., Doria, A., Hansen, J.E., Kato, S., Kurayama, Y., Randall-Goodwin, E., Ruggiero, P., Walker, I.J. et Heathfield, D.K. (2015) : Coastal vulnerability across the Pacific dominated by El Niño/Southern Oscillation; *Nature Geoscience*, vol. 8, p. 801–808. doi:10.1038/ngeo2539
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., van Renssch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, M.J., Wu, L., England, M.H., Wang, G., Guilyardi, E. et Jin, F.-F. (2014) : Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming; *Nature Climate Change*, vol. 4, p. 111–116. doi:10.1038/nclimate2100
- Charron, I. (2014) : Guide sur les scénarios climatiques : utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation; Ouranos, 86 p., http://www.ouranos.ca/media/publication/351_GuideCharron_FR.pdf.
- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichefet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W.J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A.J. et Wehner, M. (2013) : Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility; chapitre 12 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, p. 1029–1106, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>).
- Environnement Canada (2015) : Réseau canadien des scénarios de changements climatiques; Environnement Canada, <http://ccds-dscc.ec.gc.ca/index.php?page=main&lang=fr>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013) : Résumé à l'intention des décideurs; dans *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques* (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, p. 3–29, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.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. 1–32, https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/drafts/fd/WGIIAR5-Glossary_FGD.pdf.
- Khon, V.C., Mokhov, I.I., Pogorskiy, F.A., Babanin, A., Dethloff, K., Rinke, A. et Matthes, H. (2014) : Wave heights in the 21st century Arctic Ocean simulated with a regional climate model; *Geophysical Research Letters*, vol. 41, p. 2956–2961. doi:10.1002/2014GL059847
- Young, I.R., Zieger, S. et Babanin, A.V. (2011) : Global trends in wind speed and wave height; *Science*, vol. 332, p. 451–455. doi:10.1126/science.1197219

FAQ 6 : COMMENT LE NIVEAU DE LA MER CHANGERÀ-T-IL AU CANADA ET COMMENT DÉTERMINE-T-ON LE CHANGEMENT PRÉVU?

Auteur : Thomas James (Natural Resources Canada)

À l'échelle mondiale, on prévoit que le niveau moyen de la mer s'élèvera de dizaines de centimètres, et peut-être de plus d'un mètre, d'ici 2100 (figure 5a; voir le chapitre 2; GIEC, 2013). Les principales causes de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale sont le réchauffement de la couche supérieure des océans (effet stérique) ainsi que les contributions en eau de fonte et en décharge d'icebergs issues des glaciers, des calottes glaciaires et des inlandsis ancrés. L'Antarctique a le potentiel d'apporter une contribution supplémentaire de dizaines de centimètres à l'élévation du niveau de la mer d'ici 2100. L'importance et le moment de cette contribution potentielle sont inconnus et il est peu probable que cela se produise (GIEC, 2013), mais il se peut que l'on doive en tenir compte dans les cas où la tolérance au risque d'élévation du niveau de la mer est faible (voir le chapitre 3). L'élévation du niveau de la mer a le potentiel de contribuer à une augmentation de l'érosion côtière et du nombre de phénomènes de niveau d'eau extrême qui provoquent des inondations côtières.

Le changement prévu du niveau relatif de la mer varie d'une région à l'autre en raison de nombreux facteurs (voir le chapitre 2; Milne et al., 2009). Parmi ces facteurs, le déplacement vertical des terres (soulèvement et subsidence) a un effet dominant au Canada. Le changement du niveau relatif de la mer est le changement du niveau de l'eau observé sur la terre ferme. Il s'agit du résultat combiné des changements dans le niveau mondial (absolu) de la mer et du déplacement vertical des terres. Le soulèvement des terres réduit le taux d'élévation du niveau relatif de la mer prévu à un endroit donné, alors que la subsidence des terres l'accentue. Dans les cas où le taux de soulèvement des terres est important, on peut prévoir une diminution du niveau relatif de la mer même si on prévoit une élévation du niveau mondial de la mer.

La plus importante élévation du niveau relatif de la mer prévue vise certaines parties de la région de la côte Est (voir les chapitres 2 et 4). On prévoit une élévation du niveau de la mer ailleurs dans la région de la côte Est, dans l'ensemble de la région de la côte Ouest et sur le littoral de la mer de Beaufort dans la région de la côte Nord (figure 5b-d; voir les chapitres 2, 4, 5 et 6). Par contre, on prévoit une diminution du niveau de la mer dans la baie d'Hudson et dans la majeure partie de l'archipel Arctique canadien de la région de la côte Nord (figure 5b-d; voir les chapitres 2 et 5), où les terres se soulèvent rapidement. Dans l'ensemble, ces schémas généraux de changement prévu du niveau relatif de la mer reflètent le déplacement vertical des terres.

Dans la majeure partie du Canada, l'ajustement isostatique glaciaire (AIG, également appelé « relèvement postglaciaire ») est la principale source de déplacement vertical des terres (voir le chapitre 2). De gros inlandsis recouvreront presque toute la masse terrestre du Canada au cours de la dernière ère glaciaire et pesaient sur la surface de la Terre, pression qui a provoqué un lent fléchissement de la couche visqueuse à grande profondeur à l'intérieur de la Terre. Pendant et après la déglaciation, la surface déprimée des terres a commencé à se relever vers son point d'élévation original. Dans les régions au bord et à l'extérieur des anciens inlandsis, les terres se sont soulevées en raison du déplacement de la couche visqueuse à l'intérieur de la Terre pendant la glaciation, mais ces régions s'enfoncent actuellement. L'intérieur de la Terre réagit sur une échelle temporelle de milliers d'années, et le déplacement vertical des terres induit par l'AIG se poursuit aujourd'hui, des milliers d'années après la déglaciation.

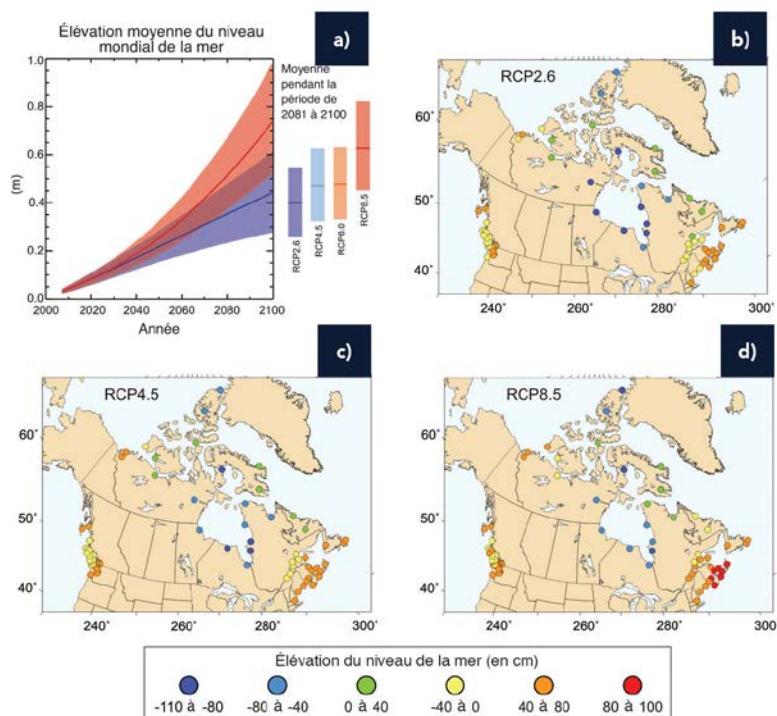


FIGURE 5 : a) Élévation prévue du niveau mondial de la mer au cours du XXI^e siècle en fonction des scénarios à émissions faibles (RCP2.6) et à émissions élevées (RCP8.5; GIEC, 2013, figure SPM.9). L'élévation moyenne prévue du niveau mondial de la mer au cours de la période de 2081 à 2100 (rectangle du panneau a) comprennent les prévisions en fonction des scénarios à émissions intermédiaires RCP4.5 et RCP6.0. L'élévation prévue du niveau relatif de la mer en 2100 (tracé des valeurs médianes) est indiquée pour certaines localités du Canada et des États-Unis continentaux adjacents pour b) le scénario à émissions faibles, c) le scénario à émissions modérées (RCP4.5) et d) le scénario à émissions élevées. Les prévisions sont formulées par rapport à la période de 1986 à 2005 et s'appuient sur le Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Church et al., 2013a, b), modifié afin de tenir compte du déplacement vertical de la croûte terrestre mesuré en certains endroits au moyen du Système mondial de localisation (Global Positioning System ou GPS; James et al., 2014, 2015). Les prévisions médianes et les intervalles de confiance de 5 à 95 % connexes englobent la plage probable de changement du niveau de la mer, laquelle est définie comme ayant une probabilité de 66 à 100 % (GIEC, 2013).

Les terres se soulèvent dans la baie d'Hudson et dans une grande partie de l'archipel Arctique canadien en raison de l'AIG. Certaines parties de la région de la côte Est et du littoral de la mer de Beaufort dans la région de la côte Nord s'enfoncent. Ailleurs, les terres se soulèvent, mais plus lentement. Dans les deltas des fleuves Fraser et Mackenzie, la consolidation des sédiments engendre une subsidence locale qui contribue à l'élévation du niveau relatif de la mer. Dans la région de la côte Ouest, l'activité tectonique découlant de l'interaction des plaques du Pacifique et de Juan de Fuca avec la plaque nord-américaine contribue également au déplacement vertical des terres.

Les réductions prévues de la masse de glace ancrée attribuables à la fonte et à la décharge d'icebergs s'ajoutent au niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale, mais réduisent l'élévation prévue du niveau relatif de la mer dans les régions de la côte Ouest et de la côte Nord. L'effet est considérable dans la partie nord-est de la région de la côte Nord, qui abrite les glaciers et les calottes glaciaires de l'archipel Arctique canadien et est située près de l'inlandsis du Groenland. On prévoit que toutes ces masses de glace connaîtront d'importantes réductions de leur masse tout au long du siècle en cours. Cela entraînera un soulèvement des terres et contribuera à la réduction du taux d'élévation locale du niveau de la mer. En outre, l'attraction gravitationnelle réduite des masses de glace qui s'ameuissent fera abaisser la surface de l'océan. Presque partout, les changements du niveau relatif de la mer prévus sont plus importants pour les scénarios du GIEC (2013) présentant des émissions plus élevées et des taux plus élevés de changement du niveau mondial de la mer prévu. Il y a une exception à Alert, au Nunavut, où la plus grande réduction de la masse de glace prévue par le scénario à émissions plus élevées entraîne un soulèvement plus important de la croûte terrestre et un taux plus élevé de diminution du niveau de la mer prévu.

On se fonde sur les prévisions du niveau moyen de la mer décrites ici pour envisager les changements futurs aux phénomènes de niveau d'eau extrême et à leurs conséquences, soit les inondations et l'érosion côtière (voir les chapitres 2 à 6). À court terme (de quelques années à quelques décennies), la variabilité et la dynamique naturelles du climat provoqueront des fluctuations du niveau de la mer qui devraient dominer les phénomènes de niveau d'eau extrême. Dans la région de la côte Ouest en particulier, l'oscillation australe El Niño et l'oscillation décennale du Pacifique engendrent des cycles de changements de plusieurs dizaines de centimètres dans le niveau de la mer sur des périodes de plusieurs années (Thomson et al., 2008). À plus long terme, la lente élévation d'arrière-plan du niveau moyen de la mer prévue pour de nombreux endroits au Canada entraînera une augmentation de la fréquence des phénomènes de niveau d'eau extrême. L'effet peut être marqué dans des endroits comme Halifax et Tuktoyaktuk, où l'élévation prévue du niveau relatif de la mer est importante. À ces endroits, on prévoit que les phénomènes de niveau d'eau extrême caractérisés par une période de récurrence de plusieurs décennies se produiront à une fréquence de quelques années, voire même plus fréquemment, d'ici la fin du siècle (voir le chapitre 2; Forbes et al., 2009; Lamoureux et al., 2015).

Bref, le changement prévu du niveau relatif de la mer au Canada varie considérablement en raison de différences dans le taux de déplacement vertical des terres et d'autres facteurs. En certains endroits de la région de la côte Est, l'élévation prévue du niveau relatif de la mer dépasse les valeurs prévues à l'échelle mondiale, mais le changement du niveau relatif de la mer prévu dans la plupart des endroits est inférieur à la valeur mondiale (James et al., 2014 [figure 9], 2015). Dans de grandes parties de la région de la côte Nord, on prévoit que le niveau relatif de la mer continuera de diminuer en raison du soulèvement des terres.

RÉFÉRENCES

- 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. (2013a) : Sea level change; chapitre 13 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, p. 1137-1216, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf>.
- 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. (2013b) : Sea level change supplementary material; 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, p. 13SM-1-13SM-8, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/supplementary/WG1AR5_Ch13SM_FINAL.pdf>.
- 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; Commission géologique du Canada, Dossier public 6346, 22 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/248/248196/of_6346.pdf>.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013) : Résumé à l'intention des décideurs; dans *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques* (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, p. 3-29, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf>.
- 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; Commission géologique du Canada, Dossier public 7737, 67 p., <http://ftp2.cits.rncan.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; Commission géologique du Canada, Dossier public 7942, 81 p., <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/297/297048/of_7942.pdf>.
- Lamoureux, S., Forbes, D.L., Bell, T., Manson, G.K., Rudy, A.C.A., Lalond, J., Brown, M., Smith, I.R., James, T.S., Couture, N.J., Whalen, D.J.R. et Fraser, P.R. (2015) : The impact of climate change on infrastructure in the western and central Canadian Arctic; chapitre 7 dans *From Science to Policy in the Western and Central Canadian Arctic: An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of Climate Change and Modernization*, G.A. Stern et A. Gaden (éd.); ArcticNet, Québec, Québec.
- Milne, G.A., Gehrels, W.R., Hughes, C.W. et Tamsiea, M.E. (2009) : Identifying the causes of sea-level change; *Nature Geoscience*, vol. 2, p. 471-478. doi: 10.1038/ngeo544
- Thomson, R.E., Bornhold, B.D. et Mazzotti, S. (2008) : An examination of the factors affecting relative and absolute sea level in coastal British Columbia; Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques 260, 49 p., <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/335209.pdf>>.

FAQ 7 : QUELLE INCIDENCE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER AURONT-ILS SUR LES ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS?

Authors : Colleen S.L. Mercer Clarke (Université d'Ottawa, Université de Waterloo), Christopher D.G. Harley (Université de British Columbia), Paul V.R. Snelgrove (Université Memorial) et Liette Vasseur (Université Brock)

Les environnements côtiers du Canada englobent un éventail complexe d'écosystèmes terrestres, aquatiques et marins interreliés. Dans une grande partie du pays, le peu d'information disponible sur les tendances en matière de santé des écosystèmes côtiers, en particulier dans les milieux éloignés des populations humaines, entrave la poursuite d'une planification efficace en vue du changement. Depuis l'arrivée des colons européens, la couverture terrestre et les schémas d'utilisation le long des côtes méridionales du Canada sont passées de terres en grande partie boisées à des terres principalement agricoles et urbanisées. Ces changements en matière de diversité et de services écosystémiques peuvent avoir une forte incidence sur la capacité des écosystèmes de réagir et de s'adapter à tout changement.

Les changements climatiques au Canada contribuent déjà aux changements se produisant dans les écosystèmes côtiers et provoquent la perte d'habitats, la migration d'espèces, des modifications au niveau de la productivité, des changements dans les fonctions et services écosystémiques et une sensibilité croissante aux nutriments et aux polluants. Le réchauffement de l'environnement compromet la survie de certaines espèces sauvages, à moins que celles-ci ne puissent migrer plus vers le nord. Dans certaines régions de la côte, les changements prévus dans l'environnement physique, causés par l'augmentation du niveau de la mer ou d'autres phénomènes liés au climat, peuvent se produire à un rythme dépassant la capacité d'adaptation des espèces et des écosystèmes. À l'inverse, dans certaines régions, les changements que subit le climat peuvent mener à une amélioration des conditions dans le cas de certaines espèces et rendre possible la création de services écosystémiques nouveaux ou améliorés. Garantir la durabilité des écosystèmes et des services écosystémiques exige une bonne compréhension des effets cumulatifs des changements climatiques et des conditions météorologiques de plus en plus violentes, de même que des rapports entre les forêts, les rivières, les eaux marines et les gens.

Les chercheurs éprouvent des difficultés à prévoir quelles espèces et quelles collectivités des écosystèmes côtiers courront les plus grands risques, et où et quand on atteindra les points de basculement (le moment où débute un changement rapide et catastrophique). Cependant, un corpus croissant de documents canadiens et internationaux aborde les effets négatifs et, parfois, positifs des changements dans la température de l'air et de l'eau, des changements dans les schémas de précipitation, de l'élévation du niveau de la mer et des événements météorologiques violents sur la faune et la flore des régions côtières. Les principales conclusions au sujet de ces effets au Canada sont les suivantes :

- Les changements dans la productivité des écosystèmes terrestres (p. ex. forêts et terres humides) auront une incidence sur la capacité de survie des espèces indigènes et peuvent améliorer les conditions pour les espèces envahissantes. Les périodes de chaleur et de sécheresse prolongées créeront des conditions favorables aux feux de forêts. Les changements dans la végétation, combinés aux augmentations ou aux diminutions dans les charges de précipitations saisonnières dans les bassins hydrographiques, se solderont par un changement du moment auquel le débit fluvial maximal se produira, et des inondations ou des sécheresses porteront atteinte aux écosystèmes aquatiques, en modifiant les espèces et les habitats. Les taux d'érosion accrus des cours d'eau découlant des débits de pointe plus élevés, les changements dans la charge et mise en place des sédiments et les modifications dans les charges de nutriments apportées par les eaux de ruissellement auront des répercussions sur la productivité des eaux littorales de même que sur la santé physique et biologique et le fonctionnement des marais salés.
- Dans les eaux littorales maritimes, les températures marines plus élevées auront une incidence sur les relations prédateurs-proies dans le réseau trophique en favorisant de manière disproportionnée certaines espèces (c.-à-d. prédateurs ou proies) et en changeant le moment de la disponibilité des aliments. Les eaux plus chaudes peuvent accroître la concurrence pour la nourriture et l'habitat chez certaines espèces, à mesure que les espèces australes déplacent leur aire de répartition vers le nord et que de nouvelles espèces sont introduites. Par exemple, des preuves incontestables révèlent déjà un déplacement vers le nord du crabe des neiges, ce qui l'éloigne encore davantage des collectivités côtières peuplées. Les températures plus élevées de l'eau augmentent également la fréquence et l'importance des épidémies de maladies chez les populations de poissons, de mollusques et de crustacés sauvages et de culture. Les températures de l'eau plus chaudes associées à une réduction du débit d'eau des rivières peuvent compromettre la survie ou la reproduction d'espèces de poisson d'eau froide comme la truite et le saumon.
- L'acidification de l'eau de mer découlant des concentrations croissantes de dioxyde de carbone constitue elle aussi une préoccupation importante. Dans certains secteurs des trois côtes, des eaux déjà jugées corrosives pour certaines formes de calcium menacent

l'intégrité des coquilles et des squelettes. Le taux plus élevé d'acidité mène à une réduction de la croissance et de la capacité de survie d'espèces de mollusques comme la palourde et l'huître et réduira probablement le nombre de prises réalisées dans d'importantes pêches en mer (p. ex. huître, moule, oursin). L'acidification de l'océan peut également avoir des effets sur le rendement du saumon rose dans les eaux douces aussi bien que littorales. L'acidité de l'océan continuera de croître au cours du XXI^e siècle, et il importe de remarquer que certaines des solutions géotechniques qui ont été proposées pour limiter l'augmentation des températures ne réduiront pas l'acidification de l'océan.

- Les concentrations croissantes de nutriments dans les eaux côtières découlant du ruissellement agricole et de l'urbanisation (de même que des précipitations plus intenses) stimuleront de plus en plus la prolifération de végétaux planctoniques, qui sombreront et se décomposeront éventuellement, épuisant du même coup l'oxygène de l'eau. Une telle eutrophisation peut entraîner une hypoxie (épuisement de l'oxygène) des eaux côtières, créant des zones mortes où les poissons et les invertébrés luttent pour survivre. L'hypoxie progressive des eaux profondes du golfe du Saint-Laurent, dans certaines régions en particulier, chasse de nombreuses espèces de poissons, de mollusques et de crustacés, y compris la morue.
- L'élévation du niveau de la mer dans certaines parties du pays et les ondes de tempête plus élevées augmenteront les taux d'érosion et modifieront les schémas de sédimentation. Les températures plus élevées à la surface de la mer réduiront également la couverture de glace sublittorale, augmentant l'exposition aux ondes de tempête hivernales et à de plus grosses vagues et accélérant le processus d'érosion sur certaines rives, ce qui aura pour conséquence de modifier la topographie locale, la profondeur de l'eau et les courants. L'exposition accrue et les tempêtes plus violentes peuvent également promouvoir la remise en suspension de sédiments contaminés dans les eaux et les ports côtiers peu profonds.
- L'élévation du niveau de la mer et de la fréquence des tempêtes peuvent entraîner l'érosion ou l'inondation des marais salés, des formations dunaires et des lits de zostères vulnérables, les repoussant vers l'intérieur des terres ou les éliminant totalement ou en partie. Les marais salés, les lits de zostère, les plages et les autres écosystèmes seront menacés aux endroits où la topographie du littoral ou des structures techniques comme des digues empêchent une migration vers les terres. Par exemple, le banc Roberts de la Colombie-Britannique, une zone essentielle du point de vue écologique, abrite plus de 300 espèces d'oiseaux et plus de 80 espèces de poissons, de mollusques et de crustacés. Des digues construites au début du XX^e siècle dans le but de stabiliser le littoral empêchent maintenant les zones végétalisées intertidales, y compris les marais côtiers, de migrer en réaction à l'élévation du niveau de la mer, éliminant ainsi un habitat marécageux essentiel (figure 6). Les changements dans les précipitations saisonnières auront également un effet sur la santé des marais salés en modifiant l'apport en nutriments et en augmentant le nombre d'épisodes de sécheresse et d'inondation.

- Dans le Nord du Canada, les écosystèmes terrestres éprouveront des difficultés liées aux changements dans la saisonnalité, à la perte de neige et de glace et au dégel du pergélisol. Les littoraux deviendront plus instables et seront modifiés par une érosion accrue, des changements dans les schémas de sédimentation et d'inondations, soit des phénomènes qui tous auront un effet sur les écosystèmes locaux et sur le bien-être des collectivités humaines qui dépendent de la chasse et de la pêche traditionnelles. La diminution de la glace de mer entraînera une réduction de l'habitat pour la mise bas et nuira aux activités de chasse d'espèces comme l'ours polaire, le phoque et le morse. Un accès accru aux eaux de l'Arctique augmentera également les possibilités au niveau des activités humaines, comme le transport maritime et la production pétrolière et gazière, de même que la probabilité de pollution, de contamination et d'introduction d'espèces associée à ces activités. Compte tenu de la fragilité de ces écosystèmes côtiers arctiques et de la difficulté d'y assurer la prestation de services d'intervention en cas d'urgence en raison de leur éloignement, la pollution peut devenir généralisée et irréversible, ce qui aura de graves conséquences au niveau de la productivité et la biodiversité.

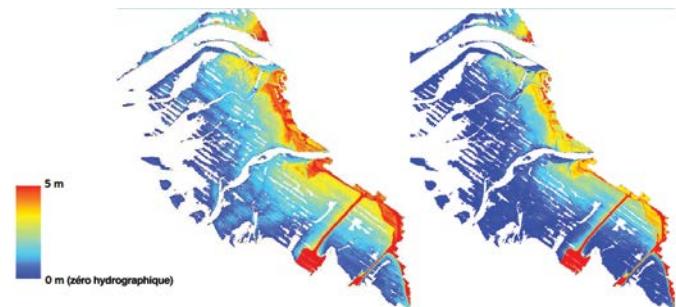


FIGURE 6 : Effet d'une élévation du niveau de la mer de 0,88 m sur le banc Roberts. Les zones en cyan et en bleu indiquent les zones qui se trouvent sous le niveau d'eau moyen, les zones végétalisées plus élevées étant illustrées en jaune et en orange (Hill et al., 2013). Le résultat est une diminution considérable de l'étendue des zones végétalisées supérieures, qui comprennent des marais très salés. Les terminaux de Port Metro Vancouver et du traversier Tsawwassen, les deux structures linéaires indiquées en orange, se prolongent sur le banc.

L'état actuel des connaissances scientifiques ne permet pas de prévoir avec certitude les effets des changements climatiques sur les environnements côtiers du Canada en raison du peu de connaissances dont on dispose au sujet de la rapidité avec laquelle les organismes peuvent s'adapter ou de la manière exacte dont différentes variables environnementales interagiront avec la vie océanique. Même si certains changements positifs peuvent se produire pour des espèces qui prospèrent dans des eaux plus chaudes ou pour différents mélanges d'espèces, beaucoup de changements auront une incidence négative par rapport à la situation qui existait dans les océans de par le passé et que l'on constate encore aujourd'hui. Un bouleversement en profondeur des océans est la seule certitude associée aux changements climatiques.

RÉFÉRENCE

Hill, P.R., Butler, R.W., Elner, R.W., Houser, C., Kirwan, M.L., Lambert, A., Lintern, D.G., Mazzotti, S., Shaw, A., Sutherland, T., Levings, C., Morrison, S., Petersen, S. et Solomon, S. (2013) : Impacts of sea level rise on Roberts Bank (Fraser Delta, British Columbia); Commission géologique du Canada, Dossier public 7259, 58 p., <http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/downloade.web&search1=R=292672>.

POUR OBTENIR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS

Ainsworth, C.H., Samhouri, J.F., Busch, D.S., Cheung, W.W., Dunne, J. et Okey, T.A. (2011) : Potential impacts of climate change on Northeast Pacific marine food webs and fisheries; ICES Journal of Marine Science, vol. 68, no 6, p. 1217–1229. doi :10.1093/icesjms/fsr043

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 Sea Around Us Project à l'intention d'Environnement Canada, 46 p., <http://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.228.3988&rep=rep1&type=pdf>.

Hutchings, J.A., Côté, I.M., Dodson, J.J., Fleming, I.A., Jennings, S., Mantua, N.J., Peterman, R.M., Riddell, B.E. et Weaver, A.J. (2012) : Climate change, fisheries, and aquaculture : trends and consequences for Canadian marine biodiversity; Environmental Review, vol. 20, p. 220–311. doi :10.1139/a2012-011

Nantel, P., Pellatt, M.G., Keenleyside, K. et Gray, P.A. (2014) : Biodiversité et aires protégées; 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. 159–190.

FAQ 8 : QUEL SERA L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES SECTEURS DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES?

Auteure : Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada)

Les industries et les entreprises des régions côtières sont confrontées à un éventail de possibilités et de défis associés aux changements climatiques. En plus de l'augmentation des températures et des modifications dans les schémas de précipitations, elles doivent composer avec le changement du niveau de la mer, l'érosion côtière, les inondations et, dans les régions nordiques, d'importantes réductions dans la couverture de glace de mer de même que la dégradation du pergélisol. Ces impacts peuvent avoir des conséquences économiques majeures : les études révèlent que d'ici 2020, les dommages économiques annuels découlant de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête au Canada pourraient totaliser entre 2,6 et 5,4 milliards de dollars et pourraient atteindre 48,1 milliards de dollars d'ici 2080 (Stanton et al., 2010). La présente foire aux questions (FAQ) donne des exemples d'impacts sur des secteurs particuliers, en mettant l'accent sur quatre secteurs (pêches, tourisme, énergie et transports) dont l'exploitation dépend de l'environnement côtier. Les chapitres régionaux (voir les chapitres 4 à 6) de même que le chapitre 3 (« Le défi côtier ») du présent rapport renferment de plus amples détails sur le sujet.

PÊCHES

Les pêches marines du Canada jouent un rôle important du point de vue économique et culturel dans les régions côtières. Les impacts des changements climatiques seront principalement ressentis par leurs effets sur des espèces particulières (p. ex. santé, populations et répartition) et sur l'infrastructure des pêches (p. ex. ports, quais, jetées), l'ampleur et l'importance des effets variant en fonction de la région, de la sous-région et du type de pêche (p. ex. commerciale, aquaculture, pêche traditionnelle et pêche sportive).

La plupart des espèces de poissons sont sensibles aux changements dans leur environnement. Par exemple, une étude sur les stocks de poissons au large de la côte orientale de l'Amérique du Nord a déterminé que 26 espèces de poissons (sur 36) s'étaient déplacées vers le nord en réaction à l'augmentation des températures de l'eau entre 1968 et 2007 (Nye et al., 2009). Les changements de ce type ont des répercussions aussi bien négatives que positives sur le moment de la saison de la pêche et sur les espèces disponibles pour la pêche. Dans le Nord, par exemple, il existe des possibilités potentielles de nouvelles pêches commerciales découlant du déplacement vers le Nord de l'aire de répartition de la morue et d'autres espèces (voir le chapitre 5).

Les changements climatiques sont également associés à l'augmentation de l'acidité de l'océan et à la diminution de la teneur en oxygène de l'eau (hypoxie). Les mollusques et crustacés ayant une valeur commerciale sur les côtes est et ouest sont vulnérables à

l'acidification pendant les nombreuses étapes de leur développement. L'hypoxie peut entraîner une réduction des stocks de poissons à nageoires et de crustacés par ses impacts sur le taux de mortalité, le développement et la croissance des poissons. L'industrie des mollusques et crustacés est également vulnérable aux augmentations du nombre d'invasions par les espèces exotiques, lesquelles se produisent en raison du réchauffement des eaux, de même qu'aux fermetures de la pêche pour motif de contamination biologique. Par exemple, les fermetures de la pêche de mollusques et crustacés le long de la côte de la Nouvelle-Écosse ne cessent d'augmenter depuis les années 1940 et, en 2000, 60 % (277 sites de récolte) des zones de pêche de mollusques et crustacés ont été fermées (CBCL Limited, 2009).

Les pêches sont également touchées par les effets des phénomènes météorologiques extrêmes, de l'élévation du niveau de la mer et de l'érosion sur les infrastructures côtières. Les dommages liés aux changements climatiques subis par les ports, les quais et les jetées est une préoccupation courante cernée par Pêches et Océans Canada.

TOURISME

Le tourisme dans les régions côtières dépend lourdement de l'environnement naturel et des services qu'il offre (p. ex. visites à la plage, pêche, navigation de plaisance et randonnée). Même si peu de recherches sur la relation entre les changements climatiques et le tourisme au Canada ont été effectuées, celles dont on dispose portent à croire qu'il y aura des impacts positifs aussi bien que négatifs.

Les avantages dans les régions de la côte Est et de la côte Ouest tendent à être liés à la prolongation des saisons se prêtant aux visites touristiques et aux activités de loisir estivales (p. ex. golf et pêche). Toutefois, l'élévation du niveau de la mer et l'impact des conditions météorologiques extrêmes posent des risques en ce qui a trait à l'infrastructure touristique (p. ex. les quais et les propriétés côtières), les ressources culturelles (p. ex. Haida Gwaii et L'Anse-aux-Meadows) et les plages (p. ex. parc national de l'Île-du-Prince-Édouard). Les eaux plus chaudes peuvent également rendre les plages moins attrayantes si elles s'accompagnent d'une augmentation de la prolifération d'algues et d'une diminution de la qualité de l'eau.

Dans le Nord, on s'attend à de plus grandes possibilités de tourisme en navire de croisière en raison de la réduction de la glace de mer (*voir la section « Transports »*), les tendances indiquant que cela a déjà commencé (*voir le chapitre 5*). Dans le sud de la région de la baie d'Hudson, toutefois, les croisières et les autres activités touristiques peuvent diminuer à mesure que les espèces qui attirent les visiteurs, comme l'ours polaire, se déplacent vers le Nord (*voir le chapitre 5*).

ÉNERGIE

Dans le Nord, la réduction de la glace de mer et la prolongation de la saison navigable peuvent présenter des possibilités pour l'industrie pétrolière et gazière en matière d'exploration et de mise en valeur. On a estimé que les réserves extracôtières potentielles dans l'ouest de l'Arctique pourraient atteindre 150 000 milliards de pieds cubes de gaz naturel et plus de 15 milliards de barils de pétrole (Government of the Northwest Territories, 2015). Les compagnies pétrolières ont manifesté de l'intérêt par rapport à la mise en valeur de nouvelles plateformes pétrolières extracôtières, comme dans la mer de Beaufort (*voir le chapitre 5*).

En Colombie-Britannique, l'infrastructure énergétique existante et prévue le long de la côte du Pacifique a été évaluée à plus de 100 milliards de dollars (*voir le chapitre 6*), et l'intérêt récent pour la mise en valeur de l'énergie et la marine marchande ont engendré une certaine croissance dans certaines collectivités de la côte nord de la Colombie-Britannique. Dans ces collectivités, les impacts préoccupants des changements climatiques sont liés à l'élévation du niveau de la mer et de l'activité orageuse, qui peuvent avoir une incidence sur les terminaux d'exportation côtiers et engendrer des conditions dangereuses pour la marine marchande.

Les dommages accrus aux infrastructures de transmission d'énergie sont un enjeu pour toutes les régions. Dans le Nord, par exemple, on se préoccupe de l'impact des augmentations potentielles du nombre d'épisodes de précipitations verglaçantes et de tempêtes plus fortes sur les fils électriques (*voir le chapitre 5*). Les changements dans les régimes d'écoulement fluvial peuvent porter atteinte à la production d'hydroélectricité de manière positive ou négative (Lemmen et al., 2014).

TRANSPORTS

Dans l'ensemble du Canada (y compris dans les régions côtières), la plupart des infrastructures de transport, y compris les routes, les chemins de fer, les ponts, les ports et les aéroports, n'ont pas été construites de manière à résister aux extrêmes climatiques futurs et à l'érosion côtière. Pour le secteur des transports, les impacts potentiels comprennent la perturbation des services de traversier et d'aéroport, la fermeture des routes et des dommages coûteux aux infrastructures (figure 7). Il existe également des possibilités potentielles pour le secteur, principalement pour la marine marchande, qui sont associées à la réduction de la glace de mer et à la présence d'eaux plus profondes dans les ports.

Des réseaux de transport fiables sont nécessaires pour le commerce et la compétitivité économique de même que pour assurer la résilience et la sécurité des collectivités. Dans la région de la côte Est, de grandes quantités de biens circulent en train et en camion entre



FIGURE 7 : Dommages causés par l'ouragan Igor à l'autoroute et au pont près de Port Rexton, à Terre-Neuve-et-Labrador. Photo gracieuseté des Services des incendies et des urgences de Terre-Neuve-et-Labrador.

même que par les dommages causés par les tempêtes (aux quais ou aux routes qui donne accès aux gares maritimes). Ces perturbations préoccupent beaucoup de petites collectivités de l'île de Vancouver et de plusieurs secteurs de la région de la côte Est.

Avec la réduction de la glace de mer, on s'attend à une plus importante circulation maritime dans le Nord, et les ports nordiques pourraient devenir plus viables (voir le chapitre 5). Cela présente des possibilités pour le tourisme en navire de croisière (avec des possibilités d'emploi et d'activités génératrices de revenus), le transport maritime de marchandises (p. ex. pour les activités liées aux ressources, l'approvisionnement des collectivités et le déplacement des ressources vers le sud) de même que la mise en valeur des industries des ressources naturelles comme l'exploitation minière. Les itinéraires maritimes nordiques permettent également des déplacements plus courts entre l'Europe et l'Asie, lesquels pourraient permettre à l'industrie du transport maritime de réaliser d'importantes économies. Toutefois, des risques y sont associés (p. ex. les dommages causés par la glace et les autres dangers maritimes) et la région de la côte Nord ne dispose actuellement que de peu de cartes nautiques et d'une capacité limitée en matière d'opérations de recherche et de sauvetage.

RÉFÉRENCES

- 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.
- Government of the Northwest Territories (2015) : Arctic Oil and Gas Symposium – discours du sous-ministre adjoint, Ressources minérales et pétrolières, 10 mars 2015; Government of the Northwest Territories, Department of Industry, Tourism and Investment, <http://www.itl.gov.nt.ca/news/arctic-oil-and-gas-symposium-assistant-deputy-minister-minerals-and-petroleum-resources-speech>.
- Lemmen, D.S., Johnston, M., Ste-Marie, C. et Pearce, T. (2014) : Ressources naturelles; chapitre 3 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. 65–98, http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf.
- Nye, J.A., Link, J.S., Hare, J.A. et Overholtz, W.J. (2009) : Changing spatial distribution of fish stocks in relation to climate and population size on the northeast United States continental shelf; *Marine Ecology Progress Series*, vol. 393, p. 111–129. doi:10.3354/meps08220
- Stanton, E.A., Davis, M. et Fend, A. (2010) : Costing climate impacts and adaptation: a Canadian study on coastal zones; rapport rédigé par le Stockholm Environment Institute à l'intention de la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, Somerville, Massachusetts, 106 p., http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Climate-mitigation-adaptation/Economics_of_climate_policy/sei-canada-coastal-zones-june-2010.pdf.

FAQ 9 : QUE FAIT-ON POUR S'ADAPTER AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES DU CANADA?

Auteure : Fiona J. Warren (Ressources naturelles Canada)

Comme on le voit clairement dans les chapitres régionaux du présent rapport, toutes les régions côtières du Canada prennent actuellement des mesures d'adaptation. Les types d'adaptation comprennent des plans et des stratégies, des changements institutionnels (comme la mise à jour des politiques, des lois et des règlements) et la mise en œuvre sur le terrain de mesures visant à réduire la vulnérabilité (p. ex. alimentation des plages et restauration des terres humides). La présente foire aux questions (FAQ) souligne certaines des activités exécutées dans chacune des régions côtières du Canada afin de réduire la

les provinces du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse par l'isthme de Chignecto, qui est peu élevé. Si cet itinéraire devait être bloqué, il paralyserait un commerce de 50 millions de dollars par jour (voir le chapitre 4). L'inondation des lignes de chemin de fer situées dans les plaines inondables de la Colombie-Britannique peut se traduire par une perte temporaire d'accès aux ports (voir le chapitre 6), et les collectivités rurales peuvent se trouver isolées lorsque les routes sont inondées. Cinq aéroports en Colombie-Britannique sont exposés à un risque accru d'inondation en raison de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête, risque attribuable à leur faible élévation (<5 m au-dessus du niveau de la mer; voir le chapitre 6).

Les services de traversier sont une composante importante du système de transport dans les régions de la côte Est et de la côte Ouest. Les perturbations des services de traversier peuvent isoler des collectivités et réduire l'accès aux services. Les services de traversier peuvent être perturbés par des retards et des annulations attribuables aux conditions météorologiques extrêmes de

vulnérabilité actuelle et future aux changements climatiques. Elle donne un aperçu et des exemples; on peut trouver de plus amples renseignements sur les mesures d'adaptation particulières dans les chapitres régionaux du rapport (voir les chapitres 4 à 6), alors que le sujet de l'adaptation en général est abordé au chapitre 3 (« Le défi côtier »).

RÉGION DE LA CÔTE EST (CHAPITRE 4)

Un inventaire des évaluations de la vulnérabilité réalisées depuis la fin des années 1990 dans la région de la côte Est a dénombré 226 études distinctes, dont la plupart mettaient l'accent sur l'érosion côtière, les inondations et la restauration des écosystèmes (voir le chapitre 4). Cela démontre l'importance des travaux exécutés en vue de cartographier et de comprendre les vulnérabilités aux changements climatiques ainsi que pour se sensibiliser aux risques posés par l'élévation du niveau de la mer et les dommages causés par les tempêtes.

Les mesures de protection structurelles, comme les perrés, les ouvrages longitudinaux et les épis, font partie des approches les plus courantes adoptées en vue de réduire les risques posés par l'érosion côtière dans la région. Même si l'utilisation de telles mesures de protection structurelles augmente, elles peuvent finir par accroître plutôt que réduire la vulnérabilité, en particulier pour les terres adjacentes, si elles ne sont pas conçues et disposées de manière convenable ou entretenues correctement. Les risques comprennent une accélération de l'érosion, la perte de plages et la compression côtière des habitats et des écosystèmes. Les mesures de protection non structurelles (comme l'utilisation de sable propre de dragage pour regarnir les plages) constituent des alternatives aux approches structurelles.

Certaines municipalités ont employé des approches qui visent à réduire les risques posés par les inondations. Par exemple, la stratégie de planification municipale et le règlement sur l'utilisation des terres pour le secteur du front de mer du centre-ville d'Halifax exige que le rez-de-chaussée de tout développement se trouve à au moins 2,5 m au-dessus de la ligne des hautes eaux ordinaire. Des stratégies d'évitement et de retrait ont également été utilisées dans la région en vue de réduire la vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer. Dans le parc national de l'Île-du-Prince-Édouard, par exemple, on a pris la décision d'abandonner certains terrains de camping et de déménager la principale route côtière vers l'intérieur des terres pour composer avec l'érosion côtière.

RÉGION DE LA CÔTE NORD (CHAPITRE 5)

Le Nord s'est réchauffé beaucoup plus rapidement que le reste du Canada, et on constate déjà des impacts graves et généralisés. En conséquence, on a porté une grande attention à l'adaptation aux changements climatiques dans la région, et beaucoup de plans et d'initiatives d'adaptation sont en place. Tous les ordres de gouvernement sont actifs en matière d'adaptation. Par exemple, Affaires autochtones et Développement du Nord Canada a un programme visant à réduire la vulnérabilité de l'infrastructure communautaire aux changements climatiques, les gouvernements territoriaux du Nunavut et du Yukon ont tous deux des stratégies d'adaptation officielles en place et plusieurs collectivités ont dressé des plans d'adaptation qui mettent l'accent sur l'amélioration de la résilience de l'environnement bâti.

Une grande partie des travaux d'adaptation dans la région mettait l'accent sur le fait de composer avec les changements se manifestant dans le pergélisol et la glace de mer. Par exemple, de nouvelles normes tenant compte des changements climatiques ont été élaborées afin d'éclairer les décisions prises en matière de construction sur le pergélisol. Une étude dans trois peuplements côtiers des Territoires du Nord-Ouest a conclu que le recours à une « adaptation éclairée » pouvait réduire le coût des impacts de la dégradation du pergélisol d'un tiers par rapport au coût si aucune mesure n'est prise (voir le chapitre 5). Afin de s'adapter aux schémas changeants de la glace de mer, de nouvelles technologies sont utilisées pour échanger des renseignements sur l'épaisseur de la glace de mer et sur d'autres caractéristiques de surface afin de réduire les risques liés à la sécurité (associés par exemple aux déplacements sur la glace de mer). Par exemple, le système de surveillance et d'information en temps réel sur la glace de mer pour les environnements côtiers (Sea-Ice Monitoring And Real-Time Information for Coastal Environments ou SmartICE) est un système de cueillette et de diffusion d'information sur la glace de mer mis à l'essai avec des collectivités du Nunatsiavut et du Nunavut.

L'accès à l'information est un obstacle à l'adaptation abordé par de nombreuses initiatives, y compris un portail en ligne élaboré sous l'égide du Conseil de l'Arctique. Ce portail d'information sur l'adaptation a été mis au point en vue de faciliter l'échange de connaissances sur l'adaptation aux changements climatiques dans le nord circumpolaire et sert de pôle d'information pour les intervenants responsables de la prise de décisions sur les enjeux (p. ex. collectivités, chercheurs, secteurs public et privé). On accède au portail par le site Web Arctic Adaptation Exchange (<http://www.arcticadaptationexchange.com>).

RÉGION DE LA CÔTE OUEST (CHAPITRE 6)

Dans la région de la côte Ouest, les risques associés à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations côtières ont fait l'objet d'une attention considérable de la part des gouvernements provinciaux et locaux. Plusieurs gouvernements locaux ont commencé à planifier en fonction de l'élévation du niveau de la mer. Parmi les projets d'adaptation récents, on note par exemple une évaluation du coût de la mise

à niveau du système de digues de Metro Vancouver, une évaluation des risques posés par l’élévation du niveau de la mer dans le District régional de la capitale Victoria et la disposition de blocs rocheux sous la ligne de marée basse sur la côte de West Vancouver afin d’atténuer l’impact des ondes de tempête. Les pôles économiques importants (p. ex. l’Aéroport international de Vancouver et le Port de Metro Vancouver) travaillent également avec les municipalités avoisinantes sur des mesures d’adaptation.

Au niveau provincial, la Colombie-Britannique a mis à jour les lignes directrices en matière de développement dans les zones inondables, et les municipalités commencent à incorporer l’élévation du niveau de la mer dans les mesures en matière de construction au-dessus du niveau d’inondation. En 2013, Vancouver est devenue la première ville de Colombie-Britannique à adopter officiellement la prise en considération d’une élévation du niveau de la mer d’un mètre relative aux exigences de mise en valeur et de planification, et la Ville évalue actuellement de nombreuses autres options de planification du développement. Des lignes directrices ont été mises au point en vue d’appuyer l’adoption d’approches techniques à l’adaptation (p. ex. structures de protection côtière comme les digues) et des travaux sont en cours dans la région sur des approches de protection non conventionnelles et prometteuses, comme l’atténuation des vagues.

FAQ 10 : QUI EST RESPONSABLE DE L’ADAPTATION DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES?

Auteure : Patricia Manuel (*Université Dalhousie*)

L’adaptation aux changements climatiques dans les régions côtières est une responsabilité partagée qui exige des mesures par tous les ordres de gouvernement, les organismes communautaires, le secteur privé, les universités et les particuliers. La présente FAQ illustre les rôles et les responsabilités des différents groupes en matière de préparation des régions côtières aux changements climatiques en général, plutôt que d’aborder des impacts climatiques particuliers.

Dans les régions côtières, les gouvernements utilisent un éventail d’outils et de mécanismes en vue de protéger la santé et la sécurité publiques, d’orienter et de réglementer l’utilisation des terres et des eaux côtières et de protéger la qualité de l’environnement. Les gouvernements étoffent également les connaissances sur les changements climatiques et ses impacts sur les milieux côtiers en menant et en appuyant des recherches de même qu’en fournissant des renseignements et des conseils. Les gouvernements peuvent donner le bon exemple par leur propre réaction aux changements climatiques : ils peuvent démontrer les pratiques exemplaires touchant le lieu et la méthode à privilégier pour la construction, la mise en valeur ou l’exploitation dans des endroits côtiers afin de minimiser les impacts sur les systèmes côtiers et de protéger l’investissement public.

Le gouvernement fédéral, par l’entremise d’une grande variété de ministères, joue de multiples rôles à l’échelle nationale, entre autres l’acquisition et le transfert de connaissances, la prestation de cadres d’action coordonnée, la mise en œuvre et le soutien de l’adaptation y compris les mesures prises par les communautés autochtones, de même que la réglementation de l’accès aux eaux côtières et au plancher océanique et de leur utilisation, y compris la zone intertidale (la zone entre la marée haute et la marée basse). Le gouvernement fédéral établit en outre les exigences, les règles et les règlements nationaux qui protègent la santé et la sécurité publiques, de même que les codes et les normes pour la conception et la construction des infrastructures. Les conditions sur la côte sont difficiles, voire même extrêmes (p. ex. ondes de tempête, ouragans, formation d’embâcles et chevauchement des glaces) et évoluent constamment (p. ex. accélération de l’érosion, perte de glace de mer et dégel du pergélisol). La révision au besoin des codes et des normes fait partie de l’adaptation aux changements touchant l’environnement côtier.

Les gouvernements provinciaux et territoriaux étoffent eux aussi les connaissances sur les changements climatiques et l’adaptation propres aux systèmes côtiers, aux utilisations des côtes et aux schémas de mise en valeur dans leur compétence. Les gouvernements provinciaux régissent la qualité environnementale de la terre, de l’air et de l’eau douce et jouent un rôle dans l’établissement des codes et des normes en matière de conception et de choix de l’emplacement des infrastructures. Avec le gouvernement fédéral, ils partagent la responsabilité de la réglementation de l’environnement côtier intertidal et de la préparation aux situations d’urgence (avec les gouvernements municipaux). En outre, ils gèrent et régissent la mise en valeur des terres et des ressources, établissent des politiques et adoptent des lois sur l’endroit et la manière de mettre les terres en valeur et sont en mesure de protéger les terres et les environnements spéciaux contre les activités de développement (p. ex. terres humides et plages côtières). Grâce à des politiques et des règlements sur l’utilisation des terres, en particulier, ils peuvent définir le type et l’intensité d’utilisation des terres dans les régions côtières sur l’ensemble de leur territoire et peuvent éloigner de la côte les activités de mise en valeur afin de protéger les gens et les investissements contre les dangers côtiers, et protéger les milieux côtiers contre les impacts du développement. Les deux stratégies —la protection des gens et la protection des milieux — sont des objectifs clés de l’adaptation.

Les gouvernements locaux (les gouvernements des villes et villages, des régions et des districts ruraux) sont souvent les mieux placés pour influer sur l'utilisation des terres côtières et pour mettre les mesures d'adaptation en place. Les gouvernements provinciaux délèguent généralement la planification et la réglementation de l'utilisation des terres aux gouvernements locaux au moyen de lois habilitantes. Les gouvernements locaux peuvent prendre les politiques et les cadres provinciaux plus généraux, le cas échéant, et les raffiner de façon à ce qu'ils répondent aux exigences du contexte local, ou peuvent créer leurs propres règles de planification et de mise en valeur (en maintenant au moins les exigences provinciales minimales). Ainsi, les gouvernements locaux peuvent contrôler les détails afférent à l'utilisation et à la mise en valeur des terres dans les régions côtières de leur compétence par le recours à la planification et à la réglementation, et au moyen d'activités de planification et de conception propres au site. Toutefois, les gouvernements locaux ont différents niveaux de capacité (c.-à-d. ressources humaines et financières) lorsqu'il s'agit d'aborder ces enjeux, et ils ne choisissent pas tous de pratiquer la planification de l'utilisation des terres et le contrôle de la mise en valeur des terres. Lorsqu'il n'existe pas de planification ou de contrôle au niveau local, les politiques et règlements provinciaux demeurent en vigueur.

L'industrie privée et les propriétaires et exploitants d'entreprises, ainsi que les propriétaires fonciers privés, se doivent de respecter les exigences, les normes, les lois et les règlements qui régissent le développement et l'activité dans les régions côtières. Ils doivent en outre garantir la résilience de leurs bâtiments et de leurs structures par une conception et un entretien convenables, et ils doivent mettre en place les mesures de protection appropriées (p. ex. assurances, protection contre les inondations, plans d'urgence) pour composer avec les phénomènes météorologiques extrêmes. Il est important de comprendre que les règles qui protègent le secteur privé (et ses investissements) contre les dangers côtiers servent également à protéger l'environnement contre les activités d'utilisation des côtes dont il peut être responsable. Là où les règles n'ont pas encore été élaborées ou mises à jour pour refléter les conditions environnementales en pleine mutation, le fait de porter attention à ce qui se passe sur la côte et de se tenir au courant des meilleures approches en matière de mise en valeur aidera les exploitants et les propriétaires fonciers privés à prendre des décisions durables à long terme.

Les organismes communautaires, non gouvernementaux et professionnels et les établissements d'enseignement ont également des rôles à jouer en matière d'adaptation dans les régions côtières. Les organismes communautaires et non gouvernementaux représentent les intérêts spéciaux des citoyens. Dans le contexte de l'adaptation des régions côtières, ces organismes aident à sensibiliser le public aux changements climatiques et à ses impacts et font la promotion de l'adaptation grâce, par exemple, à la protection de l'environnement côtier et à l'amélioration des pratiques en matière de planification et de mise en valeur des terres. Les associations professionnelles adoptent des codes de pratique et fournissent des conseils à leurs membres sur la façon de fonctionner dans les régions côtières. Par exemple, le génie, l'architecture et la planification sont des professions jouant un rôle dans l'élaboration ou la promotion de normes de pratiques exemplaires en matière de construction, de conception et de mise en valeur dans les régions côtières. Les professions de l'immobilier et des assurances complètent cet effort en encourageant les gens (par la divulgation de renseignements, la disponibilité des assurances et les primes) à faire de bons choix en ce qui concerne l'achat de propriétés côtières et l'endroit où bâtrir lorsqu'ils achètent des terres côtières. Les établissements d'enseignements, en particulier les universités et les collèges, sont particulièrement aptes à renforcer l'acquisition de connaissances au sujet des changements climatiques et du milieu côtier et à assurer le transfert généralisé de ces connaissances afin de garantir les normes les plus élevées d'adaptation dans les régions côtières et d'aider à instruire et informer le public sur le milieu côtier et les changements climatiques.

Dans les régions côtières, la complexité de l'environnement, la diversité des intérêts et la grande variété de règlements et de contrôles signifie qu'une approche de l'adaptation coordonnée et à multiples intervenants est nécessaire. Une compréhension commune des défis, de même que des objectifs communs appuyés par des normes, des règles, des renseignements et des cadres rigoureux, aideront à garantir que les différents groupes peuvent travailler ensemble de manière efficace à s'adapter aux changements climatiques dans les régions côtières.

POUR OBTENIR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS :

Arlington Group Planning + Architecture Inc., Tetra Tech EBA, De Jardine Consulting et Sustainability Solutions Group (2013) : Sea level rise adaptation primer: a toolkit to build adaptive capacity on Canada's south coasts; BC Ministry of Environment, 149 p., <http://www2.gov.bc.ca/gov/DownloadAsset?assetId=41DCF41B26B4449DBF54FAA0A8C751A9&filename=slr-primer.pdf>.

Stewart, P.L., R.J. Rutherford, H.A. Levy et Jackson, J.M. (2003) : A guide to land use planning in coastal areas of the Maritime Provinces; Rapport technique canadien sur les sciences halieutiques et aquatiques 2443: x + 165 pages.

FAQ 11 : COMMENT LES COÛTS DES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SE COMPARENT-ILS AUX COÛTS DE L'ADAPTATION?

Auteurs : Jimena Eyzaguirre (ESSA Technologies Ltd.) et Gerett Rusnak (Ressources naturelles Canada)

COMPARAISON DES RÉSULTATS DE DIVERSES ÉTUDES

Il est difficile de comparer les résultats d'études estimant les coûts des changements climatiques en raison des variations dans la portée, les présomptions et les méthodes. Les variations dans la portée comprennent les différences dans le type et le nombre de dangers climatiques examinés (p. ex. inondations côtières, érosion côtière, ondes de tempête) de même que les différences dans le degré auquel les estimations des coûts reflètent les impacts physiques pertinents directs (p. ex. dommages aux propriétés privées et aux infrastructures publiques, perte d'habitat) et indirects (p. ex. perturbation des transports et des affaires, perte de productivité économique, changements au niveau des salaires et des prix, effets sur la santé mentale). Les différentes présomptions quant à l'avenir (rythme et importance des changements dans les conditions climatiques, taux de croissance de la population et de l'économie) et quant à l'importance des mesures d'adaptation déjà prises contribuent également aux variations dans les estimations. Les méthodes varient considérablement et vont de techniques d'établissement des coûts directes de base à la modélisation à l'échelle de l'économie entière.

Les coûts sociaux, économiques et environnementaux des impacts des changements climatiques et des mesures d'adaptation dans les régions côtières maritimes du Canada sont très peu connus. Quelques études, à différentes échelles, ont été entreprises au cours des dernières années. Ces études brossent un portrait partiel et ne saisissent généralement qu'une petite partie des coûts complets. Elles diffèrent rarement le coût ajouté par les changements climatiques futurs à des systèmes côtiers déjà touchés par les risques liés au climat actuel. Néanmoins, prises collectivement, ces études laissent entendre que les mesures d'adaptation peuvent engendrer des avantages dont la valeur dépasse les coûts en réduisant les dommages causés par les impacts côtiers liés au climat. Toutefois, pour certains endroits et certaines mesures, les coûts de l'adaptation peuvent dépasser la valeur des avantages. Les études indiquent également que les coûts et avantages relatifs de différents types de mesures d'adaptation — comme les mesures de protection naturelles et artificielles, les mesures de protection contre les inondations et les déménagements — peuvent varier considérablement d'un endroit à l'autre.

Une analyse à l'échelle nationale réalisée par la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) a estimé le coût des dommages causés aux maisons par les inondations attribuables à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête le long du littoral canadien (TRNEE, 2011), en fonction de divers scénarios futurs d'évolution du climat et de croissance de l'économie et de la population, à entre 4 et 17 milliards de dollars par an (en dollars de 2008, non actualisés) d'ici le milieu du siècle. Cela représente entre 0,2 et 0,3 % des niveaux du PIB annuel prévus, et les changements climatiques sont responsables de 20 à 49 % de ces dommages. La même étude a révélé que plus de 90 % des dommages causés par les inondations côtières à l'échelle nationale se produiront en Colombie-Britannique, où la concentration de personnes et d'actifs vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête est la plus élevée du Canada. Une étude nationale récente, qui incorporait un éventail de coûts plus grand mais employait des scénarios de croissance démographique et économique future plus pessimistes à partir de l'étude de la TRNEE,² estimait le coût combiné de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête dans les provinces et territoires côtiers du Canada pendant la période de 2009 à 2054 à un total cumulatif de 53,7 à 108,7 milliards de dollars (exprimés en termes de PIB en valeur actuelle, indiquée en dollars de 2008, actualisés à 4 %), selon l'ampleur des changements climatiques futurs (Withey et al., 2015).³ Au niveau local, quelques études à l'échelle communautaire ont été réalisées en vue d'estimer la valeur des propriétés ou des terres menacées par l'élévation du niveau de la mer, les ondes de tempête ou l'érosion aggravée par les changements climatiques. Les estimations des coûts varient considérablement d'un cas à l'autre, mais peuvent être de l'ordre de millions, voire de milliards, de dollars pour certaines collectivités (McCulloch et al., 2002; BGC Engineering Inc., 2009; Hallegatte et al., 2013; AECOM, 2015). À part les différences dans la portée, les présomptions et les méthodes, les variations dépendent de la mesure dans laquelle les collectivités sont vulnérables aux changements climatiques (p. ex. nombre et valeur des actifs et des services exposés aux dangers climatiques).

Les études qui comparent les coûts des impacts côtiers liés aux changements climatiques avec et sans adaptation semblent indiquer que l'adaptation planifiée peut réduire considérablement les coûts. Une analyse présentée par la TRNEE (2011) a révélé que l'interdiction

² Withey et al. (2015) ont employé les estimations des coûts des dommages directs causés aux résidences, aux terres agricoles et aux terres forestières dans les régions côtières du Canada par l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête, estimations tirées de Stanton et al. (2010), en vue de modéliser les coûts indirects de ces dommages attribuables aux changements dans les prix et les salaires associés à la perte de terrain et de capital, dans l'ensemble de l'économie des six provinces côtières (les provinces de l'Atlantique, le Québec et la Colombie-Britannique) et des trois territoires au moyen de modèles à l'échelle de l'économie (« modèles d'équilibre général programmables »). L'étude exclut les impacts sur les valeurs non marchandes (comme les valeurs des écosystèmes et les activités de loisir), le coût des dommages aux infrastructures publiques (p. ex. ports, routes et chemins de fer) et aux propriétés commerciales (p. ex. usines, magasins et marinas); ainsi que les pertes attribuables à l'interruption des activités commerciales.

³ Le bas de cette fourchette correspond au scénario climatique de « Stabilisation rapide » du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et le haut de cette fourchette correspond au scénario climatique du « Statu quo » du GIEC (GIEC, 2000).

de nouvelles résidences dans les secteurs que l'on prévoit être à risque d'inondation d'ici 2100, et le déménagement des résidences des secteurs à risque après une inondation, entraînent une réduction de 96 à 97 % des dommages cumulatifs totaux. Une autre étude a découvert que dans le cas des terrains très sensibles à l'élévation du niveau de la mer, l'investissement dans la protection du littoral des sommes nécessaires pour assurer l'atténuation de tout impact de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête actuelles et futures causées par le climat est économiquement profitable pour toutes les provinces côtières (Withey *et al.*, 2015).

Au niveau local, on commence à entreprendre des analyses coûts-avantages (ACA) des options d'adaptation visant à réduire l'érosion et l'inondation des collectivités côtières. L'une de ces analyses, réalisée pour la Municipalité de Sept-Îles (voir le chapitre 4; Tecsuit Inc., 2008; ÉcoRessources, 2013), a établi que la stratégie d'adaptation à privilégier, du point de vue des coûts et avantages, engendrerait des avantages nets pour la collectivité d'une valeur actuelle nette estimée à plus de 850 000 \$ (en dollars de 2008) pendant la période évaluée de 25 ans. Cette stratégie d'adaptation comprenait une combinaison de mesures de déménagement proactif et d'alimentation en sable du littoral afin de ralentir l'érosion (une forme de « ravitaillement des plages »). En adoptant cette stratégie, la municipalité pourrait éviter des pertes de 15,8 millions de dollars (en dollars de 2008) en termes de valeur actuelle nette qui se seraient produites en fonction du scénario de base (ne rien faire avant que le déménagement ne devienne nécessaire).

Les études qui évaluent les options d'adaptation révèlent également les stratégies qui peuvent être les plus bénéfiques ou les moins coûteuses pour les petites collectivités et les endroits localisés. « Protéger le fort » au moyen de structures d'ingénierie lourde est la stratégie la moins sensée du point de vue économique dans certaines études ACA de niveau local, surtout lorsqu'elles tiennent compte des valeurs sociales et écologiques. L'ACA pour la Municipalité de Sept-Îles, par exemple, a démontré que la stratégie d'adaptation la plus bénéfique du point de vue économique exige le ravitaillement des plages de six des treize sites côtiers évalués de même qu'un déménagement proactif dans six autres de ces sites. Par contraste, il a été démontré que les deux options qui mettaient l'accent sur les solutions d'ingénierie lourde (p. ex. cordons et digues à la mer le long du littoral) étaient plus coûteuses que le scénario de base dans le cas de tous les sites évalués.

Les premiers résultats d'une ACA pour l'emplacement riverain du village historique de Percé, au Québec, révèlent que toutes les options d'adaptation évaluées permettraient d'éviter des coûts liés aux changements climatiques et seraient généralement bénéfiques pour la collectivité en termes de coûts et d'avantages économiques, sociaux et environnementaux.⁴ Par exemple, l'option la plus bénéfique à dans le cas d'un site de cette région est le ravitaillement de la plage en gros galets, alors que l'option la moins bénéfique exige la construction d'un ouvrage longitudinal en béton doté d'un déflecteur.

Une étude de la Colombie-Britannique dressant le profil de trois sites côtiers au niveau local a évalué les mesures de protection « non structurelle » (p. ex. ravitaillement de la plage et ajout de rochers sublittoraux) par rapport aux mesures de protection « structurelle » (p. ex. élévation d'un ouvrage longitudinal et construction d'une digue à la mer) en fonction de critères en matière d'écologie, d'économie et d'efficacité de l'adaptation (Lamont *et al.*, 2014). L'étude a révélé que, dans le cas des options de protection structurelle et non structurelle offrant le même niveau de protection contre les inondations en fonction d'un scénario d'élévation du niveau de la mer attribuable aux changements climatiques, les mesures de protection non structurelle offraient des économies de 30 à 70 % supérieures aux options de protection structurelle.

La présence de propriétés de grande valeur, d'infrastructures majeures, d'aménagements ou de grosses populations dans les zones exposées aux impacts côtiers peut militer en faveur des options de protection structurelle (voir le chapitre 6; McCulloch *et al.*, 2002; Withey *et al.*, 2015). Le coût estimé de l'adaptation pour la mise à niveau des 250 km de littoral endigué et de secteurs de faible élévation de Metro Vancouver afin de protéger les populations actuelles et les actifs de grande valeur contre une élévation du niveau de la mer d'un mètre et une inondation du type se répétant une fois tous les 500 ans est de 9,47 milliards de dollars (en dollars de 2012; Delcan Corporation, 2012). À titre comparatif, on estime à 33 milliards de dollars la valeur des actifs qui sont actuellement exposés à une inondation dont la période de récurrence est d'une fois tous les 100 ans à Vancouver (Hallegatte *et al.*, 2013). Des recherches visant à estimer les coûts qu'il est possible d'éviter ou de réduire grâce à une meilleure protection contre les inondations dans les basses terres continentales de la Colombie-Britannique sont en cours, mais les analyses antérieures semblent indiquer que les coûts évités pourraient être considérables. Par exemple, l'évaluation des risques d'inondation de 2009 de la Ville de Chilliwack a déterminé que la valeur des dommages et des pertes associées à un seul événement de brèche dans la digue pourrait dépasser le milliard de dollars (BGC Engineering Inc., 2009).

Même si une analyse coûts-avantages de base s'avère être un outil utile pouvant servir à éclairer les décisions en matière d'adaptation, il est important de reconnaître que la meilleure option d'adaptation peut ne pas être celle qui semble l'être suite à une simple comparai-

⁴ Ces travaux font partie d'une paire d'études économiques régionales réalisées par Ouranos et l'Université de Prince Edward Island, dans le cadre desquelles des études de cas d'ACA ont été réalisées sur onze sites côtiers au Québec et dans les provinces de l'Atlantique. De plus amples renseignements sont disponibles auprès d'Ouranos (2014).

son des coûts et des avantages. Les options d'adaptation plus souples et réversibles peuvent offrir une valeur ajoutée, compte tenu des incertitudes relatives à l'ampleur et au moment des dommages et à l'efficacité des options d'adaptation. Une analyse économique qui incorpore la valeur de la souplesse peut aider à éclairer les stratégies en matière de gestion des risques côtiers de manière adaptive eu égard à l'incertitude (Gersonius *et al.*, 2012).⁵ En outre, la répartition des coûts et des avantages de l'adaptation parmi les groupes de la société peut être inégale (p. ex. tous les contribuables peuvent contribuer à la protection du littoral mais seul un petit groupe de propriétaires fonciers en profite). En séparant les résultats par zone géographique ou par groupe social, l'analyse économique peut aider les décideurs à aborder les questions touchant l'équité des options d'adaptation (p. ex. Boyd *et al.*, 2012).

RÉFÉRENCES

- AECON (2015) : Capital Region District coastal sea level rise risk assessment; rapport rédigé à l'intention du District régional de la capitale, janvier 2015, <<https://www.crd.bc.ca/docs/default-source/climate-action-pdf/coastal-sea-level-rise-risk-assessment-report.pdf?sfvrsn=0>>.
- BGC Engineering Inc. (2009) : Quantitative flood risk analysis; report prepared for the City of Chilliwack, BC Ministry of Environment, BC Ministry of Transportation, Kinder Morgan Pipelines, Terasen Gas et Seabird Island Band, janvier 2009.
- Boyd, R., Gados, A. et Maynes, T. (2012) : Economic guide for the appraisal and prioritization of adaptation actions; rapport rédigé à l'intention de Ressources naturelles Canada, novembre 2012, <<http://allonesky.ca/wp-content/uploads/2013/10/Economic-Guidance-for-the-Appraisal-and-Prioritization-of-Adaptation-Actions.pdf>>.
- Delcan Corporation (2012) : Cost of adaptation : sea dikes & alternative strategies; final report prepared for Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/cost_of_adaptation-final_report_oct2012.pdf>.
- EcoRessources (2013) : Résumé et commentaire concernant le rapport, Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles; rapport de consultation rédigé à l'intention de Ressources naturelles Canada, 15 octobre 2013.
- Gersonius, B., Morselt, T., van Nieuwenhuijzen, L., Ashley, R. et Zevenbergen, C. (2012) : How the failure to account for flexibility in the economic analysis of flood risk and coastal management strategies can result in maladaptive decisions; Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. septembre/octobre 2012. doi :10.1061/(ASCE) WW.1943-5460.0000142
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2000) : Emissions scenarios (rapport spécial du Groupe de travail III du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), N. Nakicenovic et R. Swart (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 599 p., <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>>.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R.J. et Corfee-Morlot, J. (2013) : Future flood losses in major coastal cities; Nature Climate Change, vol. 3, p. 803-806.
- Lamont, G., Readshaw, J., Robinson, C. et St. Germain, P. (2014) : Greening shorelines to enhance climate resilience; Stewardship Centre of BC, BC Climate Action Toolkit, <<http://www.toolkit.bc.ca/Resource/Greening-Shorelines-Enhance-Climate-Resilience>>.
- Lin, B.B., Khoo, Y.B., Inman, M., Wang, C-H., Tapsuwan, S. et Wang, X. (2014) : Assessing inundation damage and timing of adaptation : sea level rise and the complexities of land use in coastal communities; Mitigation and Adaption Strategies for Global Change, vol. 19, p. 551-568. doi :10.1007/s11027-013-9448-0
- McCulloch, M.M., Forbes, D.L., Shaw, R.W. et CCAF A041 Scientific Team. (2002) : Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island; Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, 1 CD-ROM.
- Ouranos (2014) : Economic assessment of climate change impacts and cost-benefit analyses of adaptation strategies in coastal areas of Quebec; Ouranos, projet en cours, <http://www.ouranos.ca/media/publication/342_FicheDesjarlais_eng2014.pdf>.
- Stanton, E., Davis, M. et Fend, A. (2010) : Costing climate impacts and adaptation : a Canadian study on coastal zones (rapport commandé par la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie); Stockholm Environment Institute, 106 p.
- Tecsult 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, 146 p.
- TRNEE [Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie] (2011) : Paying the price – coastal areas; Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, <<http://collectionscanada.gc.ca/webarchives2/20130322181324/http://nrtee-trnee.ca/climate/climate-prosperity/the-economic-impacts-of-climate-change-for-canada-paying-the-price-coastal-areas>>.
- Withey, P., Lantz, V.A. et Ochuodho, T.O. (2015) : Economic costs and impacts of climate induced sea-level rise and storm surge in Canadian coastal provinces : a CGE approach; Applied Economics, vol. 48, no 1. doi :10.1080/00036846.2015.1073843

FAQ 12 : OÙ PUIS-JE TROUVER DES RESSOURCES SUPPLÉMENTAIRES SUR L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES?

Auteure : Mary-Ann Wilson (Ressources naturelles Canada)

De nombreuses ressources et de nombreux outils sont disponibles pouvant servir au processus de planification de l'adaptation aux changements climatiques. Ils peuvent aider à toutes les étapes du processus d'adaptation, entre autres à se mettre à jour sur cet enjeu, à apprendre comment le climat changera dans votre région, à évaluer la sensibilité au climat, à renforcer la capacité d'adaptation, à mettre en œuvre des mesures d'adaptation et à faire part de vos réussites (et des leçons que vous avez retenues) à d'autres. La présente FAQ met en vedette quelques ressources clés susceptibles d'aider les intervenants canadiens à faire leurs premiers pas en matière d'adaptation.

⁵ Cela comprend l'analyse économique dans un cadre de gestion du risque qui offre des conseils sur la façon d'équilibrer les considérations touchant l'échéancier et les coûts de l'adaptation, de même que les approches comme les « options réelles », qui peuvent mettre à l'essai d'autres voies d'investissement au fil du temps (Gersonius *et al.*, 2012; Lin *et al.*, 2014).

INVENTAIRES DE RENSEIGNEMENTS

NATIONAL

Adaptation Library (<http://www.iclecanada.org/resources/item/164-adaptationlibrary>) :

Cet inventaire de ressources a été préparé par le chapitre canadien du Conseil international pour les initiatives écologiques locales (ICLEI Canada) et offre une base de données constituée de rapports et d'outils susceptibles de vous aider à évaluer la vulnérabilité aux changements climatiques et à mettre en œuvre des options d'adaptation. Bon nombre des ressources mettent l'accent sur la collectivité.

Ressources naturelles Canada: Impacts et adaptation (www.nrcan.gc.ca/environment/impacts-adaptation/10761) :

Ce site web fournit des liens pour des ressources d'adaptation qui ont été développés par, ou avec le soutien de la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques (DIACC) chez Ressources naturelles Canada. Quelques-unes de ces ressources comprennent des rapports d'évaluation, des études de cas, des rapports de projet, des outils et des guides.

RÉGIONAL

Atlantic Climate Adaptation Solutions Association (ACASA; www.atlanticadaptation.ca) :

Le site de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique donne accès à des outils et des ressources qui peuvent aider les décideurs à aborder les enjeux de l'érosion côtière, des inondations côtière et continentale, de la conception de l'infrastructure et de la gestion des eaux souterraines.

Coastal and Ocean Information Network Atlantic (COINAtlantic; <http://coinatlantic.ca/>) :

Ce site Web est un pôle d'information côtière et océanique dans le Canada atlantique. Grâce à ce site, vous pouvez accéder à des données, des renseignements et des applications (y compris des outils géospatiaux) pertinents pour la région du Canada atlantique.

Ouranos (<http://adaptation.ouranos.ca/fr/>) :

Ce site offre une base de données interrogeable que vous pouvez utiliser pour avoir accès à des ressources et des renseignements sur l'adaptation aux changements climatiques au Québec.

Fraser Basin Council (<http://www.retooling.ca/>) :

Sur ce site Web, vous pouvez trouver des liens vers des profils de projet, des rapports, des guides, des études de cas, des présentations et des outils pertinents aux travaux sur l'adaptation aux changements climatiques en Colombie-Britannique.

Adaptation to Climate Change in British Columbia

(<http://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/climate-change/policy-legislation-programs/adaptation>) :

Ce site Web provincial fournit des liens vers des rapports sommaires sur les impacts des changements climatiques, des indicateurs et la stratégie d'adaptation de la province.

Partenariat panterritorial pour l'adaptation (<http://www.northernadaptation.ca/fr/>) :

Ce partenariat est une collaboration entre les gouvernements du Nunavut, des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon. Son site Web offre des liens vers des ressources conçues en vue d'aborder la question des changements climatiques dans le Nord, de même que des mises à jour sur les activités pertinentes.

Centre sur les changements climatiques du Nunavut (<http://climatechangenunavut.ca/fr>) :

Ce site Web est conçu en vue d'aider les Nunavummiut à en apprendre davantage sur les changements climatiques dans l'Arctique et sur la manière dont ils peuvent s'y intéresser et s'adapter. Il donne un aperçu des changements climatiques dans l'Arctique canadien et donne accès aux plus récentes recherches et aux plus récents renseignements sur les connaissances traditionnelles et locales en matière de changements climatiques.

COMPRENDRE ET UTILISER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Guide sur les scénarios climatiques (http://www.ouranos.ca/media/publication/351_GuideCharron_FR.pdf) :

Ce guide est un outil permettant aux décideurs de se familiariser avec les renseignements sur le climat futur. Il s'adresse à tous ceux qui participent à l'adaptation aux changements climatiques, qu'ils en soient aux premières étapes de la sensibilisation au phénomène des changements climatiques ou à la mise en œuvre de mesures d'adaptation.

Données et scénarios climatiques canadiens (<http://ccds-dscc.ec.gc.ca/index.php?page=main&lang=fr>) :

Ce site Web d'Environnement Canada fournit des cartes, des tracés et des tableaux sur les changements prévus en matière de température et de précipitation au Canada. Les renseignements sont disponibles pour différentes périodes et des statistiques sommaires sont disponibles pour les provinces et les territoires.

Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC; <https://pacificclimate.org/>) :

Situé à l'Université de Victoria, ce centre régional de services climatiques offre des renseignements pratiques sur les impacts physiques de la variabilité et du changement climatiques dans les régions canadiennes du Pacifique et du Yukon.

ADAPTATION À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

Sea Level Rise Adaptation Primer

(<http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/climate-change/policy-legislation-and-responses/adaptation/sea-level-rise/slris-primer.pdf>) :

Ce guide d'introduction destiné aux gouvernements locaux et aux autorités responsables de la gestion des terres fournit des renseignements sur un éventail d'outils pouvant être utilisés dans le cadre d'une stratégie d'adaptation à l'élévation du niveau de la mer.

COMMUNAUTÉS EN LIGNE

Communauté de pratique de l'adaptation au changement climatique (CdPACC; <https://ccadaptation.ca/fr/landing>) :

Cette communauté en ligne interactive sert d'endroit où les chercheurs, les experts, les décideurs et les spécialistes de tout le Canada peuvent se réunir pour poser des questions, présenter des idées, échanger des connaissances et communiquer avec d'autres personnes travaillant dans le domaine de l'adaptation aux changements climatiques.

Canadian Climate Data and Scenarios (<http://ccds-dscc.ec.gc.ca/?page=main>) :

This Environment Canada website provides maps, plots and tables of projected temperature and precipitation changes for Canada. Information is available for different time ranges, and summary statistics are available for the provinces and territories.

Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC; <https://pacificclimate.org/>) :

Located at the University of Victoria, this regional climate service centre provides practical information on the physical impacts of climate variability and change in the Pacific and Yukon regions of Canada.

