

8 · Canada Atlantique

CHAPITRE 8 : CANADA ATLANTIQUE

AUTEURS PRINCIPAUX :

ERIC RAPAPORT¹
SIDNEY STARKMAN²
WILL TOWNS³

COLLABORATEURS :

NORM CATTO (UNIVERSITÉ MÉMORIAL DE TERRE-NEUVE),
SABINE DIETZ (GOUVERNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK),
KEN FORREST (VILLE DE FREDERICTON),
CHRIS HALL (PORT DE SAINT JOHN),
JEFF HOYT (GOUVERNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK),
DON LEMMEN (RESSOURCES NATURELLES CANADA),
SHAWN MACDONALD (GOUVERNEMENT DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE),
TYLER O'ROURKE (PORT DE SAINT JOHN),
BOB PETT (SERVICE INTERNES, NOUVELLE-ÉCOSSE),
YURI YEVDOKIMOV (UNIVERSITÉ DU NOUVEAU-BRUNSWICK)

NOTATION BIBLIOGRAPHIQUE RECOMMANDÉE :

Rapaport, E., Starkman, S., et Towns, W. (2017). Canada Atlantique. Dans K. Palko et D.S. Lemmen (Éds.), *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016* (pp. 240-287). Ottawa (ON) : Gouvernement du Canada.

¹ École de planification, Dalhousie University, Halifax (N.-É)

² École de planification, Dalhousie University, Halifax (N.-É)

³ École de planification, Université de Waterloo, Waterloo (ON) et Transports Canada, Ottawa (ON)

TABLE DES MATIÈRES

Principales conclusions.....	242
1.0 Introduction	243
1.1 Caractéristiques environnementales	243
1.2 Caractéristiques démographiques	243
1.3 Caractéristiques économiques	244
2.0 Profil du climat régional.....	245
2.1 Tendances climatiques observées	245
2.2 Projections climatiques	246
3.0 Système de transport au Canada atlantique	248
3.1 Transports routier et ferroviaire	249
3.2 Transport maritime	251
3.3 Transport aérien	252
4.0 Transport routier : Impacts et adaptations	253
4.1 Impacts constatés dans le passé et risques futurs	253
4.2 Pratiques d'adaptation	256
5.0 Transport ferroviaire : Impacts et adaptations.....	260
5.1 Impacts constatés dans le passé et risques futurs	260
5.2 Pratiques d'adaptation	263
6.0 Transport maritime.....	265
6.1 Impacts constatés dans le passé et risques futurs	265
6.2 Pratiques d'adaptation	267
7.0 Transport aérien.....	270
7.1 Impacts constatés dans le passé et risques futurs.....	270
7.2 Pratiques d'adaptation	271
8.0 Évaluations des risques et analyses coûts-avantages pour le transport multimodal	272
8.1 Évaluations des risques	272
8.2 Analyse coûts-avantages	272
9.0 Lacunes et conclusions	276
10.0 Annexe	277
Références	283

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- **Les événements météorologiques extrêmes et les ondes de tempête sont les risques climatiques les plus préoccupants pour les exploitants du secteur du transport, les gouvernements provinciaux et les municipalités du Canada atlantique.** Les ouragans, les vents violents, les précipitations abondantes et les chutes de neige extrêmes ont entraîné des dommages coûteux et des perturbations du transport dans les ports maritimes, retardé des vols et emporté des routes et des voies ferrées. Puisque la fréquence et l'intensité des tempêtes augmenteront, ces impacts continueront probablement d'être importants.
- **Alors que la plupart des mesures visant à améliorer la résilience climatique des systèmes de transport ont été prises en réponse aux données historiques sur les conditions météorologiques extrêmes, les risques climatiques projetés (tels que la hausse du niveau de la mer) font l'objet de plus en plus de planification et d'investissements.** Les initiatives et les partenariats coordonnés indiquent que les provinces de l'Atlantique participent activement à des activités de planification d'adaptation. Les évaluations des risques et les analyses coûts-avantages régionales, dont la portée comprend les systèmes de transport, aideront à orienter les décisions qui seront prises à l'avenir.
- **Les praticiens du transport tiennent compte des changements climatiques projetés dans la planification et l'exploitation de certaines routes, ponts, chemins de fer et ports maritimes dans les provinces du Canada atlantique, mais les mesures visant les aéroports sont toutefois moins bien documentées.** Bien que cette situation soit le reflet de la prédominance du transport routier et maritime dans la région, il existe des lacunes importantes dans la recherche sur les stratégies d'adaptation portant sur tous les modes de transport.
- **Un certain nombre de stratégies sont utilisées pour améliorer la résilience des infrastructures de transport aux risques d'inondation en particulier.** Au nombre de ces stratégies, on trouve la construction de barrières physiques (murs de protection, brise-lames, digues), l'amélioration de la gestion des eaux pluviales (mise à jour des débits conceptuels, agrandissement des ponceaux) et le déplacement ou l'élévation de l'infrastructure.
- **Les technologies de surveillance des conditions climatiques et météorologiques au niveau régional aident les exploitants du transport à recenser les risques climatiques dans le Canada atlantique et à s'y adapter.** Par exemple, les bouées de surveillance SmartAtlantic servent à se préparer en cas d'événements météorologiques extrêmes et à mieux comprendre les changements climatiques dans l'océan, et l'outil CLIVE (Coastal Impact Visualisation Environment) permet aux utilisateurs de visualiser les changements dans les lignes côtières sur l'Île-du-Prince-Édouard. Ces technologies aident à l'évaluation des risques et permettent aux praticiens de communiquer l'ampleur des impacts à court et à long terme aux décideurs.

1.0 INTRODUCTION

Le Canada atlantique est composé des provinces du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse, de l'Île-du-Prince-Édouard et de Terre-Neuve-et-Labrador. Bien que chaque province atlantique possède ses propres caractéristiques géographiques et culturelles, elles partagent de nombreuses vulnérabilités climatiques liées aux systèmes de transport en raison de leur proximité commune à l'océan Atlantique et des côtes qu'elles partagent (plus de 40 000 km) (Environnement Canada, 2012). Ces vulnérabilités comprennent les risques associés aux événements météorologiques extrêmes (par exemple les inondations, les tempêtes saisonnières), ainsi que les changements climatiques graduels à long terme (par exemple, la hausse du niveau de la mer, les changements dans les configurations des températures et des précipitations). Les gouvernements et le secteur privé ont reconnu le besoin de mettre en œuvre des mesures d'adaptation reconnues pour réduire les pertes, éviter les coûts futurs et tirer parti des possibilités éventuelles.

Le présent chapitre examine les risques et possibilités pour le secteur des transports dans le Canada atlantique ainsi que les pratiques visant à accroître la résilience au changement climatique. Le chapitre aborde les quatre principaux modes de transport (routier, ferroviaire, maritime et aérien).

La littérature examinant les impacts du climat sur les systèmes de transport au Canada atlantique est assez limitée. Par conséquent, le présent chapitre s'appuie en grande partie sur d'autres sources d'information, y compris sur des entrevues réalisées avec des professionnels du transport. Cette recherche vient compléter d'autres évaluations des impacts climatiques et des mesures d'adaptation connexes au Canada atlantique dans son ensemble (Vasseur et Catto, 2008) et sur la côte atlantique plus précisément (Savard et coll., 2016).

1.1 CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES

Le Canada atlantique présente une diversité de paysages terrestres, y compris cinq écozones terrestres distinctes (Environnement Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1999). Les topographies proéminentes incluent des montagnes escarpées (p. ex., les monts Torngat, au Labrador), des vallées fertiles (p. ex., la vallée de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick et la vallée de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse), et de longues côtes. Les régions intérieures du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve-et-Labrador sont dominées par de hautes terres ondulées et accidentées beaucoup moins peuplées que les côtes.

Les régions climatiques varient de la toundra continentale fraîche et humide à la toundra continentale soumise à l'influence du Gulf Stream chaud dans le Sud auquel se substitue le courant froid du Labrador dans le Nord. Les conditions saisonnières sont le reflet des influences tropicales et polaires, et continentales et maritimes qui marquent la région. Les côtes de l'Atlantique sont frappées par toute l'étendue des systèmes de tempêtes tropicales et extratropicales fréquemment associées à de forts vents, à des précipitations abondantes et à des ondes de tempête.

1.2 CARACTÉRISTIQUES DÉMOGRAPHIQUES

Le Canada atlantique abrite environ 2,4 millions de personnes. La région a connu une croissance démographique modeste de 2006 à 2011 (une moyenne provinciale de 2,2 %), soit un taux inférieur à la moyenne nationale (5,9 %) (Statistique Canada, 2011). Les déplacements de population dans la région témoignent d'une migration importante des zones rurales vers les centres urbains, alors que la croissance démographique dans les grandes villes est beaucoup plus importante (tableau 1).

Tableau 1 : Population et changements démographiques dans les provinces de l'Atlantique et les régions métropolitaines de recensement (RMR). (Source : Statistique Canada, 2011)

Endroit	Aire (km ²)	Population en 2011	Population en 2006	Croissance démographique 2006-2011
Nouveau-Brunswick	73 440	751 171	729 997	2,9 %
Terre-Neuve-et-Labrador	405 720	514 536	505 469	1,8 %
Nouvelle-Écosse	55 490	921 727	913 462	0,9 %
Île-du-Prince-Édouard	5 590	140 204	135 851	3,2 %
RMR d'Halifax	5 490,28	390 328	372 858	4,7 %
RMR de St. John's	804,65	196 966	181 113	8,8 %
RMR de Moncton	2 406,31	138 644	126 424	9,7 %
RMR de Fredericton	4 886,40	94 268	86 226	9,3 %
RMR de Saint John	3 362,95	127 761	122 389	4,4 %
RMR de Charlottetown	798,54	64 487	59 325	8,7 %

1.3 CARACTÉRISTIQUES ÉCONOMIQUES

Flux des échanges commerciaux

La majorité du commerce au Canada atlantique se fait avec des partenaires à l'extérieur de la région – principalement avec les États-Unis et les autres provinces, bien que les marchés internationaux soient de plus en plus importants.

Près de la moitié de tout le trafic des marchandises en provenance du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse est destiné à d'autres provinces, alors que moins de 25 % du commerce est intraprovincial (Gauthier, 2014). Le modèle de trafic des marchandises de l'Île-du-Prince-Édouard est semblable alors que la majorité des exportations sont distribuées à travers le Canada. Terre-Neuve-et-Labrador est plus étroitement lié aux chaînes d'approvisionnement mondiales que les autres provinces de l'Atlantique, alors qu'environ un tiers du trafic des marchandises est destiné aux États-Unis, et un tiers vers le reste du monde (Lambert-Racine, 2013).

La région de l'Atlantique étant le point d'accès en Amérique du Nord le plus près de l'Europe, les principaux ports du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve-et-Labrador jouent un rôle important (Porte canadienne de l'Atlantique, 2010). L'économie régionale est positionnée pour poursuivre sa croissance dans le commerce mondial, y compris pour une augmentation croissante des connexions avec les marchés émergents asiatiques à travers le canal de Suez. Ces tendances sont déjà en cours – par exemple, la valeur des exportations en provenance de Terre-Neuve-et-Labrador vers la Chine, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et la France a augmenté de plus de 400 % de 2010 à 2013 (Newfoundland and Labrador Statistics Agency, 2015). Avec la croissance de l'activité commerciale le long de nombreuses routes régionales et externes, les exploitants du transport s'emploient à fournir la capacité pour répondre à la demande.

Parmi les principales exportations de la région de l'Atlantique, on trouve le pétrole brut et les produits énergétiques raffinés, les poissons, les crustacés, les minéraux, le bois d'œuvre et les pâtes et papiers, les pommes de terre et d'autres légumes. Les principales importations comprennent un grand nombre de ces mêmes produits de même que la machinerie et les pièces mécaniques (Agence de promotion économique du Canada atlantique, 2012).

2.0 PROFIL DU CLIMAT RÉGIONAL

2.1 TENDANCES CLIMATIQUES OBSERVÉES

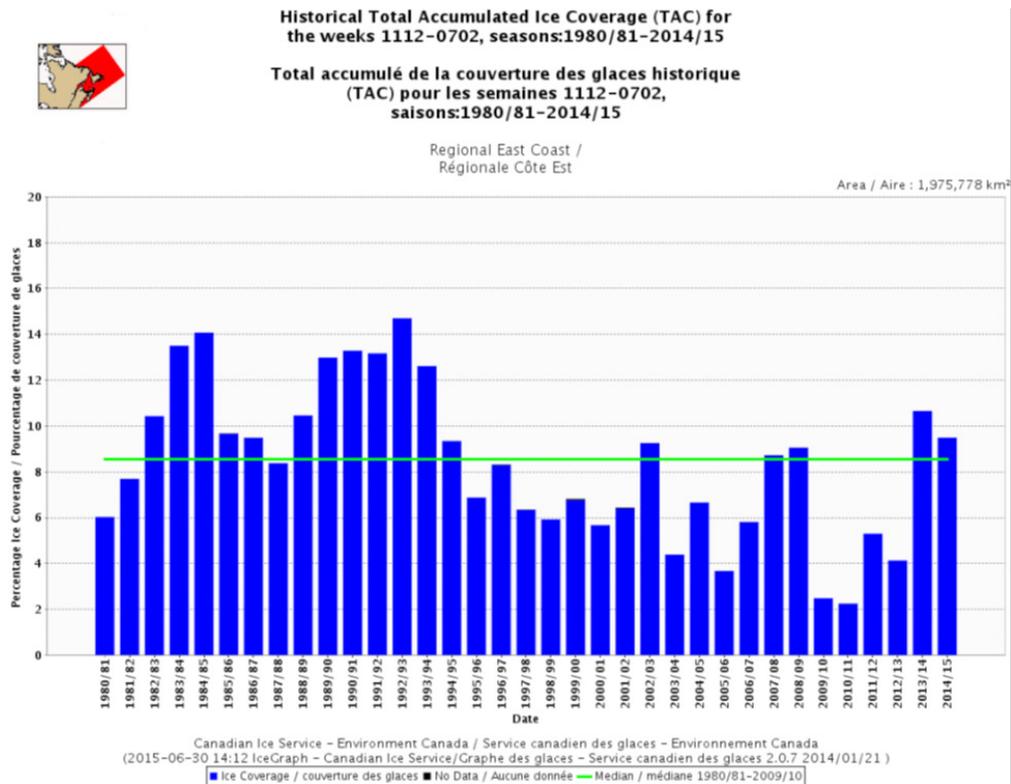
L'historique climatique du Canada atlantique se caractérise par une grande variabilité d'une année à l'autre, ainsi que par une variabilité dans les tendances à long terme (sur plusieurs décennies) relatives à plusieurs paramètres climatiques clés. Durant la période de 1948 à 2014, la température moyenne annuelle dans la région climatique de l'Atlantique ⁴ a augmenté de 0,7 °C à l'instar de la moyenne mondiale pour la même période, ce qui constitue le réchauffement le moins important parmi toutes les régions du Canada (Environnement Canada, 2015a). Par ailleurs, une augmentation des températures de surface et de l'acidité des océans a été observée (Loder et coll., 2013). Aucune tendance claire n'a été relevée pour les précipitations annuelles moyennes dans la région, bien qu'une augmentation des précipitations ait été observée durant l'été et l'automne (Mekis et Vincent, 2011).

Les changements de configuration des conditions météorologiques extrêmes comme les précipitations abondantes et les tempêtes saisonnières touchent le système de transport du Canada atlantique plus particulièrement. Ces événements augmentent les risques d'inondation (à l'intérieur et sur les côtes) et accentuent les problèmes dans les zones sujettes à l'érosion. En raison de la rareté des événements météorologiques extrêmes, il est difficile de relever des tendances dans les données historiques, en particulier à l'échelle régionale. Par exemple, de 1950 à 2010, on observe une augmentation statistiquement significative des occurrences de précipitations abondantes à certains endroits du Canada atlantique, mais une diminution dans d'autres régions (Bush et coll., 2014). Bien que les données historiques n'aient pas recensé les changements dans la direction et la vitesse moyennes des vents, l'analyse de la densité des centres de tempêtes intenses pour la période de 1961 à 2000 indique que le Canada atlantique l'une des régions subissant le plus de tempêtes en Amérique du Nord (Savard et coll., 2016). Bien que la fréquence des ouragans dans l'Atlantique Nord ne montre aucun changement significatif à long terme (United States Environmental Protection Agency, 2015), le cinquième rapport d'évaluation des changements climatiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2013) et l'United States Global Change Research Program (2014) notent que l'intensité des ouragans dans la région de l'Atlantique s'est accrue depuis les années 1980.

Les changements dans les champs de glace de mer et dans les niveaux de la mer ont une incidence sur l'infrastructure de transport maritime et côtier. La couverture des glaces de mer a diminué de manière considérable au cours des dernières décennies bien que la variabilité interannuelle reste élevée (figure 1). En raison de la réduction des champs de glace de mer réduite, les côtes sont plus vulnérables à l'érosion par les vagues lors de tempêtes hivernales. Les tendances du niveau relatif de la mer pour la plus grande partie du Canada atlantique, à l'exclusion du Labrador, montrent une hausse lente et régulière du niveau de la mer. Cette augmentation est principalement due à l'ajustement isostatique glaciaire dans les provinces de l'Atlantique, à savoir un lent mouvement vertical de la terre ou à un « relèvement » de la terre qui était enfoncée de centaines de mètres sous les nappes de glace au cours de la plus récente ère glaciaire (James et coll., 2014). La hausse du niveau de la mer a une incidence sur les vagues et les ondes de tempête frappant les sites côtiers plus élevés qui n'étaient pas à risque auparavant (Atkinson et coll., 2016).

⁴ Y compris le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Écosse, l'Île-du-Prince-Édouard et l'île de Terre-Neuve à l'exclusion du Labrador.

Figure 1 : Couverture totale historique des glaces accumulées pour les semaines du 11 décembre au 7 février de 1980 à 2015 au Canada atlantique et dans l'estuaire du Saint-Laurent (voir la carte dans l'encadré). (Source : Environnement et Changement climatique Canada)



2.2 PROJECTIONS CLIMATIQUES

Les changements climatiques projetés au Canada atlantique pour le 21^e siècle comprennent le réchauffement des températures de l'air et de l'eau ainsi que des précipitations accrues. Selon une récente analyse réalisée dans le cadre d'un projet global de comparaison des modèles climatiques⁵, une augmentation de la température annuelle moyenne de 1 °C à court terme (2016-2035) à environ 3 °C d'ici la fin du siècle devrait avoir lieu. Le réchauffement le plus important devrait se produire en hiver. Les précipitations annuelles moyennes devraient augmenter d'environ 3 % à court terme et de près de 10 % d'ici la fin du siècle dans la région, les plus grandes augmentations se produiront en hiver et au printemps. Les chutes de neige pourraient représenter une proportion réduite des précipitations totales; la durée saisonnière de la couverture de neige devrait raccourcir (Swansburg et coll., 2004); et les épisodes de pluie verglaçante devrait augmenter pendant l'hiver (Cheng et coll., 2011). Les tableaux A1 à A4 (dans l'annexe au présent chapitre) présentent des projections des températures et des précipitations par provinces de la région de l'Atlantique jusqu'en 2100 selon trois horizons temporels. Les périodes saisonnières comprennent l'hiver (de décembre à février), le printemps (de mars à mai), l'été (de juin à août) et l'automne (de septembre à novembre). Les données sont tirées des résultats du modèle climatique mondial recueillis dans le contexte du « Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 » (CMIP 5) selon un ensemble de scénarios de profil représentatif 2.6, 4.5 et 8.5 (Données et scénarios climatiques canadiens, 2015). Les données reflètent l'incertitude associée à ces projections en présentant une plage de valeurs pour les 25^e et 75^e centiles des résultats du CMIP5. La valeur médiane (50^e centile) est présentée entre parenthèses à la suite de la plage de valeurs.

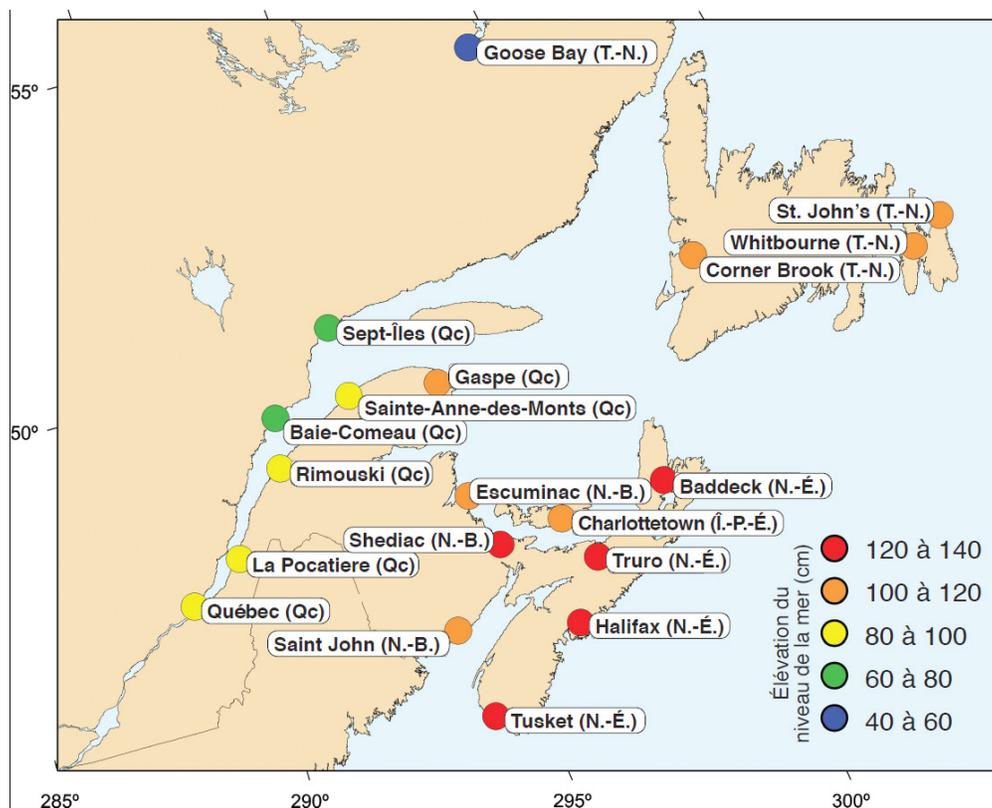
⁵ CMIP5 - Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5 (Taylor et coll., 2012).

Selon les projections globales, une augmentation de la fréquence des événements de chaleur extrême de même qu'une diminution de la fréquence des événements de froid extrême devraient être observées au Canada atlantique (Williams et Daigle, 2011). De plus, les événements de précipitation extrême sont susceptibles de devenir plus fréquents (Swansburg et coll., 2004). Bien que des changements importants dans les vitesses des vents ne soient pas prévus, un déplacement vers le Nord des trajectoires de tempêtes devrait se produire au cours du siècle actuel causant une fréquence accrue des tempêtes au Canada atlantique (Loder et coll., 2013).

La glace de mer continuera à diminuer en étendue, en épaisseur, en concentration et en durée, les modèles prévoyant qu'elle sera presque complètement absente du golfe du Saint-Laurent d'ici 2100 (Senneville et coll., 2013).

Dans les régions du Canada atlantique qui connaissent actuellement une hausse du niveau de la mer, le taux de changement s'accroîtra tout au long du siècle actuel. Dans les régions comme Nain, au Labrador, où le niveau de la mer est actuellement en baisse en raison du relèvement isostatique glaciaire, le niveau devrait soit continuer à baisser à un rythme plus lent ou pourrait commencer à augmenter en fonction de l'ampleur des changements dans le niveau moyen de la mer (James et coll., 2014). Selon les projections résultant d'un scénario de croissance élevée d'émissions pour le Canada atlantique, le niveau de la mer pourrait augmenter de 100 cm à certains endroits d'ici 2100 (figure 2) et des hausses plus importantes ne sont pas exclues (Savard et coll., 2016; Atkinson et coll., 2016). Le niveau moyen mondial de la mer va continuer à augmenter au cours des siècles après 2100. L'ampleur des changements futurs variera en fonction des succès des efforts globaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013).

Figure 2 : Projections de la hausse relative du niveau de la mer pour l'année 2100 basées sur les valeurs médianes du scénario de croissance élevée des émissions (profil 8.5, d'après James et coll, 2014.). Voir Atkinson et coll. (2016) pour obtenir des renseignements supplémentaires sur les projections relatives au niveau de la mer, et Savard et coll. (2016) pour obtenir des détails supplémentaires sur les sites du Canada atlantique. (Source : Ressources naturelles Canada)



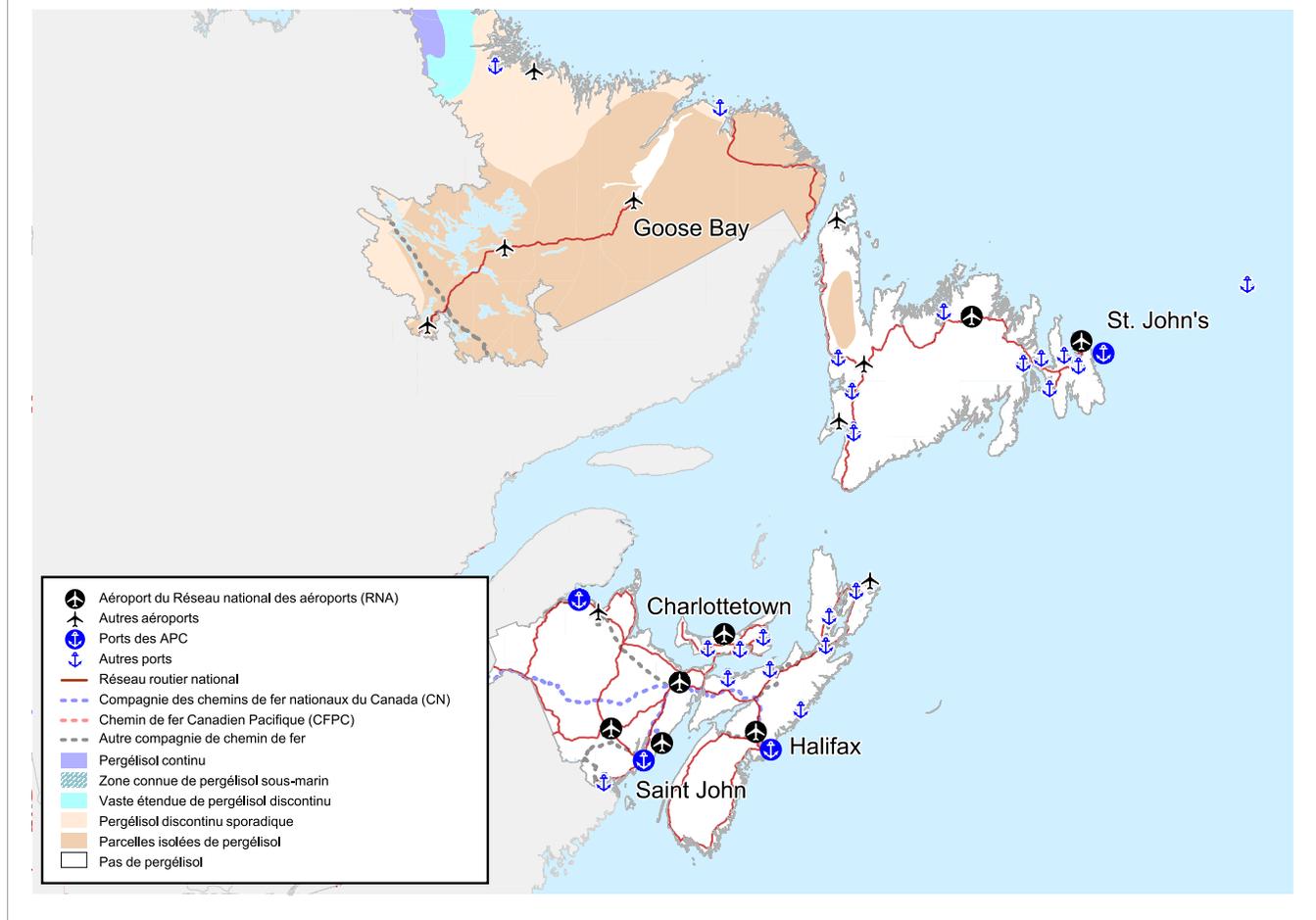
Une conséquence importante de la hausse du niveau de la mer est les niveaux d'eau extrêmes associés à la montée de vagues (la hauteur au-dessus du niveau de l'eau de la mer calme) et aux ondes de tempête (la différence entre le niveau d'eau observé et la marée astronomique projetée, résultant des variations de la pression atmosphérique et du vent). La hausse du niveau de la mer entraînera à la fois plus d'inondations sévères dues aux ondes de tempête et une fréquence accrue des événements qui contribuent aux inondations côtières et à l'érosion. Par exemple, l'analyse du port d'Halifax indique qu'une hausse du niveau de la mer de 40 cm d'ici 2050 provoquera des changements profonds dans les niveaux d'eau extrêmes – d'ici le milieu du siècle, les ondes de tempête, dont la période de récurrence est actuellement d'une fois tous les 50 ans, sont susceptibles de se produire (en moyenne) plus d'une fois tous les cinq ans (Forbes et coll., 2009).

3.0 SYSTÈME DE TRANSPORT AU CANADA ATLANTIQUE

Les sections qui suivent traitent des actifs physiques et des opérations pour chaque mode de transport au Canada atlantique, accompagnés d'une synthèse dans le tableau 2 et d'une illustration des principaux réseaux à la figure 3.

Tableau 2 : Actifs de transport dans chaque province de l'Atlantique. (Source : Association des chemins de fer du Canada, 2015; Ministère des Transports de l'Infrastructure du Nouveau-Brunswick, 2014; Newfoundland and Labrador Department of Transportation and Works, 2014; Nova Scotia Department of Transportation and Infrastructure Renewal, 2015a; Prince Edward Island Department of Transportation and Infrastructure Renewal, 2012; Province of Nova Scotia, 2009a; Transports Canada, 2014)

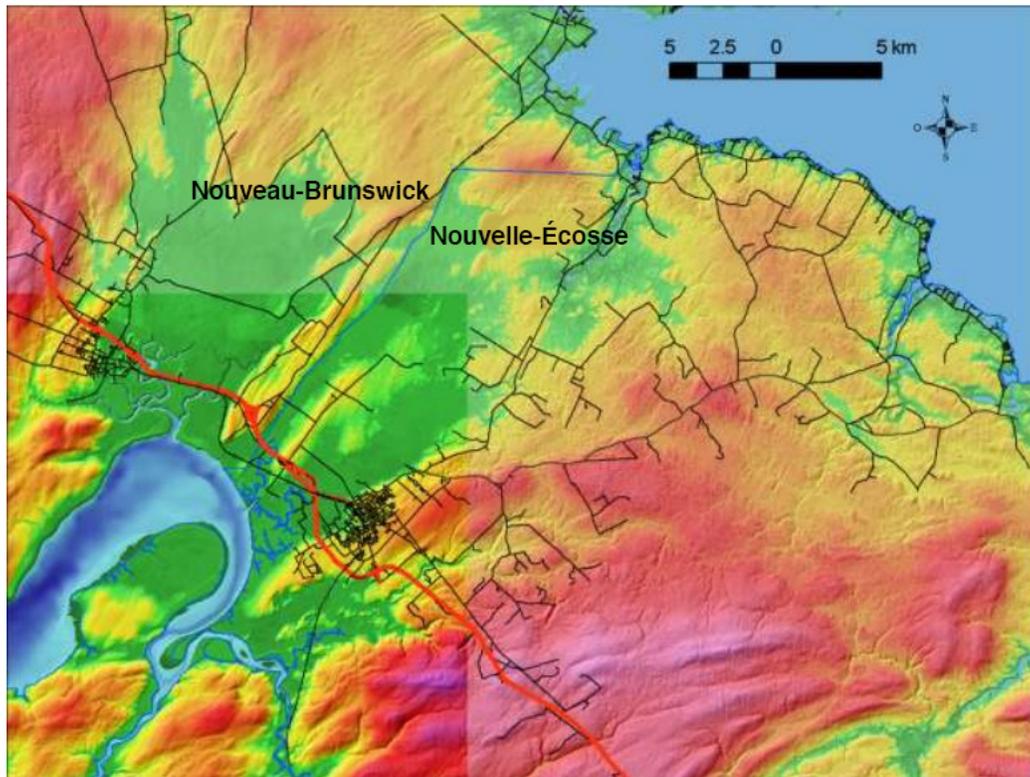
Actifs de transport	Nouveau-Brunswick	Terre-Neuve-et-Labrador	Nouvelle-Écosse	Île-du-Prince-Édouard
Autoroutes et routes provinciales (km)	18 785	9 759	23 000	3 849 pavées 1 521 non pavées
Ponts	3 212	1 327	4 100	257
Administrations portuaires canadiennes	Saint John et Belledune	St. John's	Halifax	s.o.
Ports de terminal et de transbordeurs	10 transbordeurs 18 ports de terminal	18 transbordeurs 40 ports de terminal	7 provinciaux 2 municipaux 5 privés 39 ports de terminal	2 transbordeurs 2 ports de terminal
Voies ferrées (km)	1 159	261	674	Pas de chemins de fer
Aéroports	3 aéroports RNA (Fredericton, Moncton, Saint John) 3 régionaux et locaux (Charlo, Chatham, St. Leonard)	2 aéroports RNA (Gander, St. John's) 6 régionaux et locaux (Churchill Falls, Deer Lake, Goose Bay, Stephenville, St. Anthony, Wabush)	1 aéroport RNA (Halifax) 2 régionaux et locaux (Sydney, Yarmouth)	1 aéroport RNA (Charlottetown)

Figure 3 : Principaux réseaux de transport au Canada atlantique.

3.1 TRANSPORTS ROUTIER ET FERROVIAIRE

La vaste infrastructure de transport de surface du Canada atlantique (routier et ferroviaire) témoigne de son importance régionale pour le déplacement des personnes et des marchandises. Alors que toutes les provinces de l'Atlantique dépendent des routes, le transport ferroviaire joue un rôle économique très important en Nouvelle-Écosse et au Nouveau-Brunswick en raison du réseau ferroviaire du CN qui traverse l'isthme de Chignecto. Environ 19,5 milliards de dollars de marchandises commerciales transitent par l'isthme par train, ce qui représente environ 45 % des marchandises qui circulent dans le Canada atlantique annuellement (Webster et coll, 2012; Marlin, 2013). Le corridor est le seul passage terrestre entre la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick et il est très vulnérable aux ondes de tempête et à la hausse du niveau de la mer (Figure 4, voir l'étude de cas 5). Un système de digues, qui comporte un remblai ferroviaire à certains emplacements, construit à l'origine par les Acadiens pour créer des terres agricoles, protège actuellement les terres, le chemin de fer, la route et d'autres infrastructures dans l'isthme (Webster et coll, 2012).

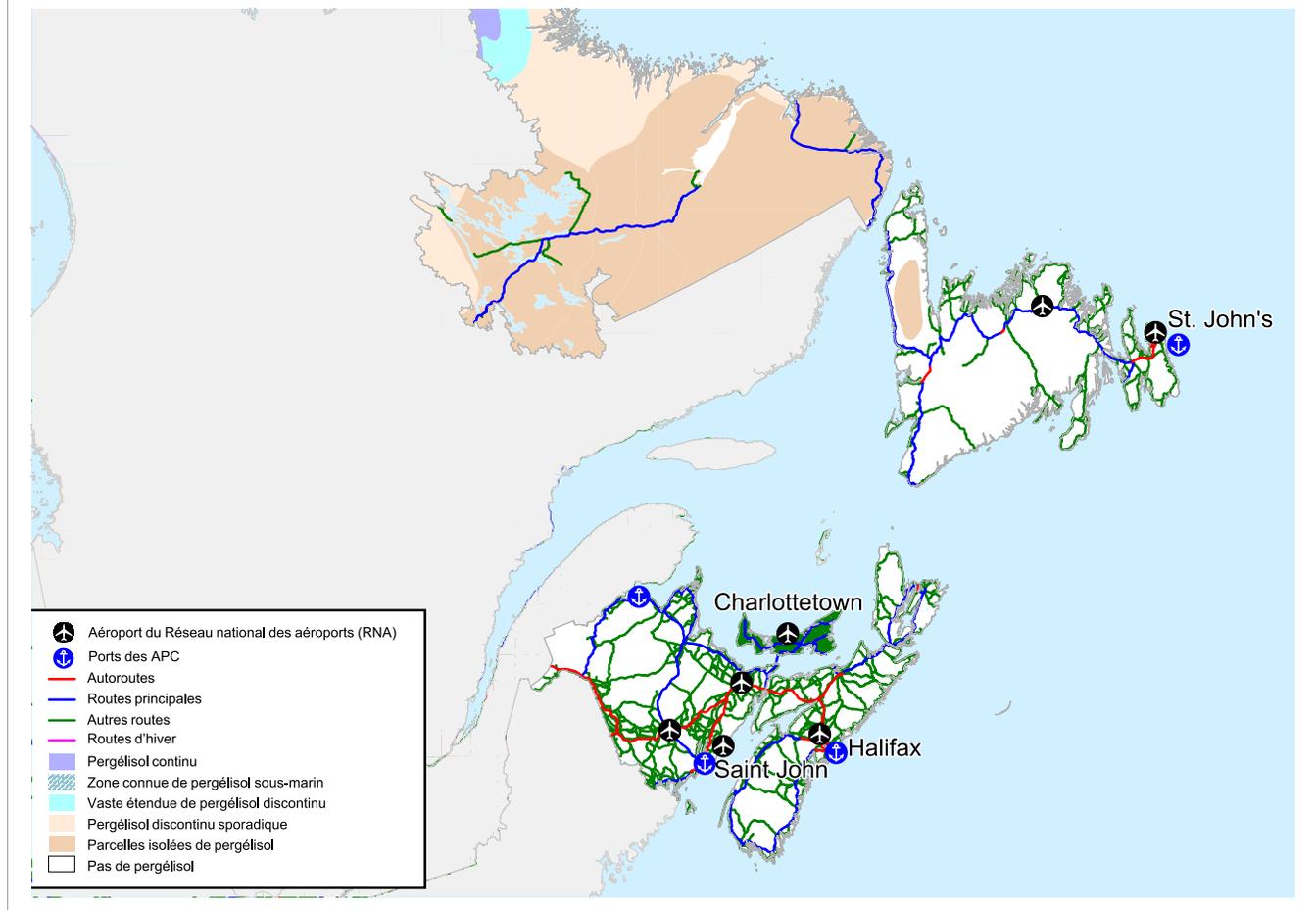
Figure 4 : Modèle numérique du relief ombré en couleur de l'isthme de Chignecto à la frontière du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse. Le vert représente les zones de faible élévation en particulier. L'isthme sépare la baie de Fundy au sud-ouest du détroit de Northumberland (golfe du Saint-Laurent) au nord-est. (Source : Groupe de recherche de la géométrie appliquée, Collège communautaire de la Nouvelle-Écosse)



Une deuxième importante liaison ferroviaire au Canada atlantique se trouve au Labrador qui accueille un court segment de rail qui se connecte au réseau du Chemin de fer Québec North Shore and Labrador (QNS & L). L'expédition de minerai de fer du Labrador via le réseau de QNS & L représente la composante la plus importante du tonnage ferroviaire commercial total en provenance du Canada atlantique (Stassinu-Stantec Limited Partnership, 2011). L'Île-du-Prince-Édouard et l'île de Terre-Neuve n'ont pas de lignes de chemin de fer opérationnelles, toutefois, quelques réseaux indépendants de taille plus modeste existent au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse.

De plus, de grands volumes de marchandises sont transportés par camion au Canada atlantique. Bien que la majorité de ces marchandises soient destinées à d'autres provinces canadiennes, une partie importante est expédiée vers les États-Unis (en traversant principalement à Woodstock et à St. Stephen (Transports Canada, 2014). Les principales autoroutes et routes de liaison relient également les villes, les villages et les provinces du Canada atlantique (voir la figure 5).

St. John's, à Terre-Neuve, est le point le plus à l'est de la Transcanadienne et est reliée au Canada continental par traversier, tandis qu'une route dans le nord du Québec relie le Labrador au reste du pays. L'Île-du-Prince-Édouard est liée au Nouveau-Brunswick par le pont de la Confédération. Achevé en 1997, le tronçon de 12,9 km représente le plus long pont du monde enjambant de l'eau couverte de glace saisonnière (Strait Crossing Bridge Ltd., 2015) et facilite le transport des personnes et des marchandises entre le continent et l'île à longueur d'année. La Transcanadienne relie le Nouveau-Brunswick au Québec et aux régions à l'ouest par le point à l'extrémité nord-ouest de la province et à la Nouvelle-Écosse en traversant l'isthme de Chignecto. Environ 500 millions de dollars de marchandises transitent par l'isthme par camion chaque année (Webster et coll, 2012; Marlin, 2013).

Figure 5 : Réseau routier du Canada atlantique.

3.2 TRANSPORT MARITIME

Chaque province de l'Atlantique est dotée d'une infrastructure de transport marine spécialisée. Le port d'Halifax est le plus important centre maritime en Nouvelle-Écosse, et le troisième port à conteneurs au Canada. Son havre profond libre de glace fournit des services à la fois pour le transport maritime international et sur courtes distances, et sa contribution à l'économie de l'Atlantique en 2013 s'élève à 1,6 milliard de dollars (Port of Halifax, 2015; Cirtwill et coll., 2001). Le Port dispose également d'une importante infrastructure intermodale permettant le transfert des marchandises vers les wagons et les camions à destination du Nord-Est et du Midwest des États-Unis, du Québec et de l'Ontario (Porte canadienne de l'Atlantique, 2010). Des travaux d'expansion de 35 millions de dollars ont récemment été réalisés dans le Port afin d'accueillir des porte-conteneurs postpanamax⁶ plus larges (Power, 2012).

Les ports de Saint John, au Nouveau-Brunswick, et de la baie de Placentia, à Terre-Neuve, ont également accueilli des volumes importants de marchandises et géré plus de pétrole brut et de produits pétroliers raffinés que le port d'Halifax (Porte canadienne de l'Atlantique, 2010). Ces produits constituent la majorité du fret maritime du Canada atlantique, dont une grande partie en provenance de Terre-Neuve. Les transbordeurs jouent également un rôle important pour le transport

⁶ On entend par postpanamax les navires qui ne font pas partie de la catégorie de navires dont les dimensions permettent d'emprunter le canal de Panama les exploitants du canal de Panama construisent actuellement un nouveau système d'écluses conçu pour prendre en charge les navires postpanamax.

de marchandises (et des personnes). Marine Atlantique, une société d'État offrant des services de transbordeur, déplace environ 50 % de toutes les marchandises transportées entre la partie continentale du Canada et Terre-Neuve via les liaisons entre Port aux Basques ou Argentia et North Sydney (Marine Atlantique, 2015).

Le tourisme maritime est un autre contributeur important à l'économie de la région, fonctionnant au maximum de sa capacité en été. L'industrie des croisières est en pleine croissance au Canada atlantique, ce qui représente 31 % du total du transport maritime de passagers du Canada en 2012 (Cruise Lines International Association, 2013; Transports Canada, 2014). La Charlottetown Harbour Authority indique une augmentation du trafic de navires de croisière d'environ 400 % entre 2007 et 2015 (Corryn Morrissey, Administration portuaire de Charlottetown, communication personnelle, 2016). Les routes des transbordeurs soutiennent le tourisme et assurent la connectivité régionale. À Terre-Neuve-et-Labrador, un certain nombre de routes de transbordeurs de ferry assurent la liaison entre le Labrador et l'île de Terre-Neuve, y compris St. Barbe-Blanc Sablon et Goose Bay-Cartwright-Lewisporte. Les transbordeurs relient North Sydney, en Nouvelle-Écosse et Terre-Neuve, tandis que la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard sont reliées par le transbordeur Caribou-Wood Islands. Parmi les autres routes importantes, on trouve la route Nouvelle-Écosse Nouveau-Brunswick via Digby à Saint John, et la route entre l'Île-du-Prince-Édouard et les îles de la Madeleine, au Québec (de Souris à Cap-aux-Meules) (Traversier CTMA, 2015).

3.3 TRANSPORT AÉRIEN

Les aéroports du Canada atlantique accueillent plus de 7,8 millions de personnes chaque année, un chiffre qui correspond à plus de trois fois la taille de la population de la région (Association des aéroports du Canada Atlantique, 2012). Le système aéroportuaire comprend sept réseaux nationaux d'aéroports (RNA)⁷ (ci-dessous) en plus de nombreux petits aéroports communautaires :

- L'aéroport international de Fredericton, l'aéroport international du Grand Moncton, et l'aéroport de Saint John (Nouveau-Brunswick);
- L'aéroport international de Gander et l'aéroport International de St. John (Terre-Neuve-et-Labrador);
- L'aéroport international Stanfield d'Halifax (Nouvelle-Écosse);
- L'aéroport de Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard).

Moins de marchandises sont transportées par transport aérien que par les autres modes dans la région de l'Atlantique – il s'agit habituellement seulement de marchandises périssables ou de produits spécialisés. Cependant, les volumes de marchandises demeurent importants, alors que plus de 60 000 tonnes métriques sont transportées annuellement (Association des aéroports du Canada Atlantique, 2012).

⁷ La désignation RNA est attribuée aux aéroports situés dans les capitales provinciales ainsi qu'aux autres aéroports dont le nombre de passagers transportés dépasse 200 000 (Transport Canada, 2010).

4.0 TRANSPORT ROUTIER : IMPACTS ET ADAPTATIONS

4.1 IMPACTS CONSTATÉS DANS LE PASSÉ ET RISQUES FUTURS

Un certain nombre de variables climatiques, y compris les événements météorologiques extrêmes, les ondes de tempête et les cycles de gel et de dégel, ont une incidence sur l'infrastructure routière et sur les activités au Canada atlantique.

Précipitations et conditions météorologiques extrêmes

Les impacts les plus graves à l'échelle régionale sont liés aux tempêtes tropicales ou post-tropicales et sont liés aux précipitations abondantes, aux vents violents et aux ondes de tempête. Par exemple, l'ouragan Juan (septembre 2003), qui a causé 100 millions de dollars de dommages directs à l'infrastructure d'Halifax à elle seule, y compris les routes et les autoroutes (Bowyer, 2003a); les ouragans Earl et Igor, survenus à une semaine d'intervalle en septembre 2010 ont causé la fermeture de routes partout au Canada atlantique. À Terre-Neuve-et-Labrador, environ 150 collectivités ont été isolées par les communautés de la fermeture des routes lors de l'ouragan Igor, et certaines parties de la Transcanadienne ont été emportées (Forum canadien du climat, 2014). L'augmentation des volumes de précipitations et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes (c.-à-d. raccourcissement des périodes de récurrence) contribueront à augmenter les risques d'inondations des routes qui entravent la circulation, augmentent la durée des déplacements et perturbent le transport des marchandises et les services d'urgence (Chu, 2012; Vasseur et Catto, 2008).

Des rafales de 80 à 160 km/h ont été enregistrées régionalement durant des tempêtes tropicales ou post-tropicales (Environnement Canada, 2013b). Les vents violents ont causé la fermeture des principaux ponts de l'Atlantique, tels que le pont MacDonald d'Halifax et le pont de la Confédération (Catto et coll, 2006). À l'été 2014, l'ouragan Arthur a déraciné des centaines d'arbres à Fredericton, au Nouveau-Brunswick, entravant la circulation jusqu'à ce que les équipes de la ville retirent les arbres des rues (voir l'étude de cas 1).

Les vents violents peuvent aussi survenir en l'absence de tempêtes tropicales. Par exemple, un tronçon de 170 km de route (de Moncton, au Nouveau-Brunswick, à Truro, en Nouvelle-Écosse) dans l'isthme de Chignecto a été fermé en raison de vents violents et de la poudrière (CBC News, 2015a). De plus, un tronçon de la Transcanadienne près de Wreckhouse, à Terre-Neuve-et-Labrador, est souvent exposé à des vents violents canalisés depuis la pointe sud des monts Long Range. Les entreprises de camionnage dans la région utilisent une technologie de surveillance constante pour réduire les risques d'incidents. Une entreprise de Terre-Neuve a rapporté le renversement de camions en raison des vents violents à Wreckhouse et dans la péninsule Northern (Fleming, 2014).

ÉTUDE DE CAS 1 : RÉPERCUSSIONS DE L'OURAGAN ARTHUR SUR LE TRANSPORT À FREDERICTON

La ville de Fredericton, au Nouveau-Brunswick (population de 57 000) est située sur une grande courbe de la rivière Saint-Jean. Historiquement, les inondations causées par les crues printanières et les événements de pluie abondante ont été difficiles à gérer pour Fredericton.

Le samedi 5 juillet 2014, l'ouragan Arthur s'est transformé en forte tempête post-tropicale et a touché à terre dans l'ouest de la Nouvelle-Écosse. Fredericton a connu une période prolongée de pluie abondante et de vents violents causés par le système de tempête, y compris 150 mm de pluie (enregistrés à la base de Gagetown près de Fredericton) et des rafales de 100 km/h à l'aéroport international de Fredericton. La combinaison de vent et de pluie a saturé le sol et causé des dommages généralisés aux arbres de même que des pannes de courant dans la ville.

La tempête a eu des répercussions sur les routes et les trottoirs, le réseau public de sentiers pédestres de même que sur l'aéroport international de Fredericton. Les équipes municipales ont eu de la difficulté à enlever les arbres tombés sur les routes et les sentiers, perturbant la circulation. À plusieurs endroits, les fils électriques s'étaient entrelacés avec des branches, nécessitant une réponse conjointe de la Société d'énergie du Nouveau-Brunswick et de la Ville afin de dégager les routes pour les véhicules d'urgence. Par ailleurs, l'aéroport a également connu une longue panne de courant et a dû compter sur des générateurs pour maintenir les opérations.

L'ouragan Arthur était atypique puisqu'il s'agissait d'une tempête tropicale survenue tôt en saison, frappant Fredericton au moment où le poids des arbres était au maximum en raison de la croissance de nouvelles feuilles (et avant que les branches et les troncs aient pu se renforcer pour soutenir leur croissance). Les événements météorologiques plus intenses et inhabituels comme Arthur ont incité la ville à revoir ses pratiques opérationnelles normalisées, y compris les pratiques suivantes :

- La plantation de différentes espèces et variétés d'arbres sur les emprises publiques afin d'assurer la résilience et de minimiser les chutes d'arbres, ce qui réduira les impacts sur le réseau de rues, de sentiers et de trottoirs;
- La mise en œuvre d'un programme intensif d'élagage des arbres pour leur permettre de résister aux événements météorologiques violents;
- La révision et la mise à niveau de l'équipement et de la formation du personnel en prévision des futures tempêtes.

De plus, la ville collabore avec le programme en sciences forestières de l'Université du Nouveau-Brunswick afin de constituer un inventaire des arbres le long des rues. Avant de replanter des arbres, les caractéristiques telles que la hauteur, le système racinaire, la canopée et la résistance des différentes espèces seront évaluées pour s'assurer que les nouveaux arbres peuvent mieux résister aux vents violents et la saturation du sol.

Cet exemple illustre les impacts indirects des conditions météorologiques extrêmes sur les opérations de transport, en particulier en milieu urbain. La collaboration entre les divers secteurs tels que l'électricité, la foresterie et le transport est importante afin de renforcer la résilience des systèmes urbains aux changements climatiques.

Rédigé par Ken Forrest (La Croissance et des Services communautaires, ville de Fredericton, Nouveau-Brunswick).

Les ondes de tempête augmentent les risques liés à l'érosion et aux inondations des côtes, ayant une incidence sur les routes près de la côte (Province of Nova Scotia, 2009b). Par exemple, l'intégrité structurale d'un pont important à Corner Brook (Terre-Neuve) a presque été compromise à plusieurs reprises en raison d'ondes de tempête. Les fonctionnaires de la ville ont été contraints de fermer le pont de manière ponctuelle pour des raisons de sécurité (Rayna Luther, Infrastructure et travaux publics de la ville de Corner Brook, communication personnelle, 2015). Le tronçon de la Transcanadienne dans l'isthme de Chignecto est également vulnérable aux inondations résultant d'ondes de tempête (voir l'étude de cas 5).

Sur l'Île-du-Prince-Édouard, où aucun point ne se trouve à plus de 16 km de la mer, l'infrastructure est particulièrement vulnérable aux dégâts causés par la haute mer. Par exemple, une forte onde de tempête survenue en décembre 2010 a causé la fermeture de ponts et inondé plusieurs ponts, y compris l'Oyster Bed Bridge, le Corran Ban Bridge et le Rustico Bridge (figure 6). Sur l'Île-du-Prince-Édouard, dont le littoral est constitué principalement de grès, l'infrastructure est particulièrement vulnérable à l'érosion en raison d'ondes de tempête et de niveaux d'eau élevés. Sur l'Île-du-Prince-Édouard, au moins deux routes côtières publiques ont été abandonnées au cours des dernières années en raison de l'érosion (Brian Thompson, gouvernement de la province de l'Île-du-Prince-Édouard, communication personnelle, 2016). Cela perturbe non seulement les propriétaires et les voyageurs, mais cause aussi des dépenses non prévues pour le gouvernement, parce qu'il est nécessaire de protéger les terres et de construire d'autres routes, s'il y a lieu (Brian Thompson, gouvernement de la province de l'Île-du-Prince-Édouard, communication personnelle, 2016). Sur l'Île-du-Prince-Édouard, le taux d'érosion des côtes est en progression. Le taux moyen d'érosion est passé de 28 cm par année entre 1968 et 2010 à 40 cm par année entre 2000 et 2010 (Webster, 2012). Sans tenir compte de la hausse du niveau de la mer et des tempêtes par suite des changements climatiques, une évaluation de l'infrastructure côtière de la province a mis en évidence plus de 40 km de route à risque d'érosion d'ici 2100.(Fenech, 2014).

L'intensité et la fréquence des inondations par suite d'ondes de tempête devraient augmenter au cours du XXI^e siècle dans les régions qui font face à la hausse du niveau de la mer, y compris la plus grande partie du Canada atlantique, ce qui fait augmenter la probabilité de dommages aux routes et aux ponts côtiers.

Figure 6 : Inondation de l'Oyster Bed Bridge pendant une tempête en décembre 2010. (Source : Don Jardine)



Changements de température et précipitations

Les cycles de gel et de dégel hypothèquent les systèmes routiers, en particulier lorsque la température change rapidement. La possibilité d'une détérioration rapide des routes et d'une augmentation des coûts d'entretien augmente également lorsque la fréquence des cycles de gel et de dégel s'intensifie. Par exemple, à la conclusion d'environ trois semaines de conditions hivernales fluctuantes en février 2015, plus de 1 000 nids de poule non réparés parsemaient la ville d'Halifax - environ 300 avaient plus de deux pouces de profondeur et ont été désignés comme « prioritaires » par conséquent (Bradshaw, 2015). Ces cycles devraient devenir plus fréquents dans la plus grande partie de la région de l'Atlantique à court terme. La fréquence des cycles de gel et de dégel pourrait diminuer alors que les températures hivernales moyennes à long terme augmentent (Boyle et coll., 2013).

Les événements de pluie-sur-neige ont également des répercussions sur les routes du Canada atlantique. En 1962, environ 180 mm de pluie sur un épais manteau neigeux se sont abattus sur la côte sud de l'Île-du-Prince-Édouard et ont causé des affouillements et des dommages considérables aux routes asphaltées (Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 2011). Lors d'un événement semblable survenu en décembre 2014, 9 millions de dollars en dommages ont été causés aux ponts et aux routes sur l'Île-du-Prince-Édouard (McCarthy, 2014; Wright, 2015). En outre, la fonte des neiges rapide peut causer des problèmes aux systèmes de drainage municipaux. Lorsque les températures ont fluctué de -27 °C à 7 °C en l'espace d'un mois à Corner Brook (Terre-Neuve), l'importante fonte de neige a entraîné l'infiltration d'importants volumes d'eau sur de courtes périodes, surchargeant la capacité de l'infrastructure de gestion des eaux pluviales (Rayna Luther, Infrastructure et travaux publics de la Ville de Corner Brook, communication personnelle, 2015).

Les conditions de pluie verglaçante et de glace noire plus fréquentes associées à des hivers plus doux ont une incidence sur la circulation, les taux d'incidents, les coûts d'entretien et l'utilisation de produits chimiques antigivrants et dégivrants (Andrey et coll., 2013). Les hivers plus doux peuvent également avoir une incidence sur la sécurité et la capacité d'utilisation des routes de glace saisonnières dans le nord du Labrador et du Nouveau-Brunswick qui fournissent un accès aux communautés souvent en franchissant des plans d'eau gelés (CBC News, 2012, Nalcor Energy, 2014).

Les températures extrêmes ont également des effets négatifs sur l'infrastructure routière. Les régions de l'intérieur du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse connaissent déjà une augmentation de la fréquence des journées chaudes, et cette tendance devrait se poursuivre (Steeves, 2013), augmentant le risque de détérioration de la route et ajoutant du stress sur les joints de pont. Même si la fréquence des épisodes de froid extrême ne devrait pas augmenter, des journées anormalement froides continueront de survenir (Gao et coll., 2015), réduisant l'efficacité énergétique des véhicules et contribuant à des routes glacées.

4.2 PRATIQUES D'ADAPTATION

À la lumière de ces impacts, les gouvernements et les exploitants privés font appel à un certain nombre de stratégies pour améliorer la résilience des infrastructures routières. Les risques d'inondation font l'objet d'une attention particulière de ces efforts.

Mesures de protection physiques

Certaines municipalités de l'Atlantique construisent des murs de protection, des brise-lames et des digues pour protéger contre la hausse du niveau de la mer et des ondes de tempête plus importantes (Liverman et coll., 1994; Batterson et coll., 1999; Halifax Regional Municipality, 2012). Ces obstacles protègent les infrastructures situées dans des zones peu élevées contre les débordements intempestifs (qui se produisent lorsque l'eau surmonte une digue ou une levée). La construction de digues et de brise-lames plus élevés peut atténuer les impacts des débits imprévisibles des eaux dans certaines régions du Canada atlantique (Graham et Musselman, sd). L'étude de cas 2 présente un exemple de ce type d'adaptation à Halifax, en Nouvelle-Écosse.

Dans les zones très préoccupantes comme le corridor de l'isthme de Chignecto, le « durcissement » des terrains environnants au moyen d'un système de digues a protégé les routes à ce jour, bien que d'autres approches d'ingénierie (terrains durs, mous et hybrides) visant à protéger l'infrastructure et les communautés en fonction des scénarios climatiques projetés aient été examinées récemment (voir l'étude de cas 5).

ÉTUDE DE CAS 2

ÉTUDE DE CAS 2 : ADAPTATION DÉFENSIVE À COW BAY (HALIFAX, EN NOUVELLE-ÉCOSSE)

La levée de Cow Bay est un tronçon de 350 m de route construite sur une plage de galets et de roches. Pendant de nombreuses années, malgré la protection d'un brise-lames, la levée était vulnérable aux dommages liés à la submersion par les vagues. Trois problèmes précis ont été relevés liés au brise-lames actuel :

1. Le brise-lames n'était pas suffisamment élevé à certains endroits pour prévenir le déversement de vagues.
2. La majeure partie des pierres de carapace en place n'était pas de taille suffisante pour résister à la force des vagues au cours d'une tempête majeure; la levée a été fermée au moins deux fois par an pour des raisons de sécurité.
3. Les espaces vides entre les pierres de carapace en place ont permis à de petites pierres et à des algues de passer à travers le brise-lames et de se déposer sur la chaussée.

En conséquence, la levée a souvent été lourdement endommagée par des tempêtes et a nécessité des réparations tous les trois à cinq ans. L'ampleur et les répercussions des récentes tempêtes (y compris l'ouragan Juan en 2003, la tempête post-tropicale Noel en 2007 et une tempête survenue en janvier 2010) ainsi que les risques d'impacts futurs ont incité la municipalité régionale d'Halifax à commander une étude et des recommandations pour la réfection de la levée et de son brise-lames. L'étude a utilisé un modèle d'évaluation des risques statistiques connu sous le nom de Coastal Infrastructure Adaptation Planning System (CIAPS) pour analyser l'interaction des futures conditions de marée et des ondes de tempête le long de la côte avec le rendement attendu du brise-lames en place, ainsi que pour déterminer les élévations appropriées pour obtenir des infrastructures plus résistantes (Davies et coll., 2010). Quatre solutions de remplacement ont été relevées :

1. Protéger la levée contre l'érosion en remplaçant les accotements de gravier par des lits en béton articulés;
2. Protéger contre l'érosion et élever la route afin de minimiser les risques de déversement des vagues;
3. Reconstruire la barrière en entier (y compris les technologies imperméables); ou
4. Reconstruire la barrière selon des phases prioritaires (Davies et coll., 2010).

Selon l'évaluation des risques, la solution permettant d'optimiser les coûts était de reconstruire le brise-lames de la levée en deux phases. La conception incluait ce qui suit :

- Une augmentation de la hauteur du brise-lames;
- Un noyau en béton de 600 mm par 2,5 m;
- Quatre à huit tonnes de pierres de carapace sur la face extérieure du brise-lames;
- Une crête du brise-lames d'environ 9 m de large;
- Une pente orientée vers la mer (deux blocs horizontaux pour un bloc vertical).





Chaque phase comprenait l'achèvement d'environ la moitié de la longueur du brise-lames, et la conception permet de gérer la hauteur accrue des vagues dans les conditions projetées des ondes de tempête et du niveau de la mer. Le projet a été déposé en 2012 et un budget de 670 000 \$ en coûts de construction a été octroyé pour la phase 1 (Davies et coll., 2010; Halifax Regional Municipality, 2012) La phase 2 a été achevée en 2013.

Bien que le nouveau brise-lames n'ait pas encore eu à gérer d'ouragans majeurs, les pratiquants locaux suggèrent que l'infrastructure a réussi à atténuer les effets des fortes tempêtes et à l'action des vagues à ce jour (David Hubley, municipalité régionale d'Halifax, communication personnelle, 2016).

Figure 7 : La levée de Cow Bay en pleine tempête. (Photo de Cow Bay Causeway prise le 26 janvier, 2010 par M. Davies, Coldwater Consulting Ltd.)



Rédigé par Eric Rapaport avec la collaboration de David Hubley (municipalité régionale d'Halifax).

Pratiques de gestion des eaux pluviales

Partout au Canada atlantique, les villes atténuent les risques pour les routes posés par les inondations en améliorant les pratiques de gestion des eaux pluviales. Parmi ces dernières, on retrouve :

- L'utilisation des projections climatiques pour mettre à jour les débits conceptionnels dans les réseaux de gestion des eaux pluviales pour tenir compte des précipitations accrues. Les exemples incluent la ville de Fredericton, au Nouveau-Brunswick (Arisz, sd), la ville de Corner Brook, à Terre-Neuve (Ville de Corner Brook, 2012), et la ville de Stratford, sur l'Île-du-Prince-Édouard (CBCL Ltd., 2012).
- En utilisant le protocole d'évaluation des risques du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) pour évaluer la vulnérabilité aux changements climatiques des systèmes de gestion des eaux pluviales et des routes. Les exemples incluent Sandy Point, en Nouvelle-Écosse; Miramichi, au Nouveau-Brunswick; et Placentia, à Terre-Neuve-et-Labrador (la municipalité du district de Shelburne, 2011; Ville de Miramichi, 2013, Ingénieurs Canada, 2014). En réponse aux recommandations du CVIIP, Sandy Point investit dans de nouvelles stations de pompage pour réduire l'infiltration et sur les déversements sur les infrastructures, et Miramichi et Placentia envisagent de plus grands ponceaux taillés le long des corridors routiers qui ont été évalués (Ville de Miramichi, 2013, Ingénieurs Canada, 2014).

D'autres pratiques de gestion des eaux pluviales recensées dans la littérature peuvent également être pertinentes pour le Canada atlantique. Elles comprennent la construction de jardins ou de bassins de rétention des eaux pluviales; l'utilisation de matériaux de chaussée perméables; la plantation d'arbres (pour augmenter l'infiltration et réduire l'accumulation d'eau sur les routes), et la coordination de la gestion des eaux pluviales à l'échelle du bassin hydrologique (c.à.d. maintien des zones humides et des canaux fluviaux naturels) (Marsalek et Schreier, 2010; Kessler, 2011).

Relocalisation de l'infrastructure

La relocalisation ou la protection des infrastructures routières contre les inondations peuvent s'avérer nécessaires lorsque le rivage est à risque d'être inondé ou d'être rendu inutilisable en raison de la hausse du niveau de la mer, des ondes de tempête et de l'érosion des côtes (Transportation Research Board, 2008; Davidson-Arnott et Ollerhead, 2011). Certaines municipalités du Canada atlantique ont choisi de construire les nouvelles routes loin des zones côtières (Graham et Musselman, sd) ou d'élever l'infrastructure lorsque cela est possible (p. ex., à Moncton, au Nouveau-Brunswick, voir chapitre sur le Transport urbain) (AMEC Inc., 2011). Par exemple :

- Le pont de la Confédération qui relie l'Île-du-Prince-Édouard à la partie continentale du Canada, au Nouveau-Brunswick, a été construit en tenant compte d'une hausse du niveau de la mer d'un mètre sur plus de cent ans. Le pont a aussi été conçu de manière à laisser passer sans danger les culots de glace sous le pont (Gregg, 2010).
- Le ministère des Transports de l'Île-du-Prince-Édouard reconstruit le pont Souris un mètre plus haut pour tenir compte des prévisions relatives à la hausse du niveau de la mer (Government of Prince Edward Island, 2015).
- Le gouvernement provincial de la Nouvelle-Écosse a récemment reconstruit ses routes de la série 100 plus à l'intérieur des terres par rapport à leurs emplacements originels afin d'offrir des corridors plus sûrs et plus rapides; en conséquence, ces routes sont beaucoup moins sensibles aux risques côtiers (Finck, 2013).
- Le ministère des Transports du Nouveau-Brunswick a reconstruit et soulevé un pont situé sur la route principale de Pointe-du-Chêne en prévision de hausse du niveau de la mer (Daigle, 2011).
- Le déplacement du segment de la Transcanadienne le long de l'isthme de Chignecto a fait l'objet de discussions comme solution d'adaptation à long terme possible, mais elle est actuellement considérée comme trop coûteuse (voir l'étude de cas 5).

Pratiques d'exploitation et d'entretien

Les exploitants s'adaptent également aux conditions météorologiques difficiles. Par exemple, une entreprise de camionnage à Terre-Neuve qui doit faire des réparations plus fréquentes en raison des conditions routières et météorologiques difficiles a trouvé un moyen créatif pour assurer la continuité des activités (Fleming, 2014). Comme le remorquage de camions vers les installations de l'entreprise à Corner Brook est coûteux et prend du temps; la société laisse maintenant des pièces de rechange en position stratégique dans les foyers et les entreprises de clients le long de ses routes (Fleming, 2014). Lorsque des réparations mineures sont nécessaires (c.à.d. les pneus, les ressorts et les lumières), les chauffeurs contactent l'établissement le plus proche pour demander la livraison ou le remplacement des pièces appropriées. Les liens créés entre l'entreprise et les collectivités locales rendent cette approche possible.

Les gouvernements investissent dans l'entretien proactif pour réduire les risques climatiques posés à l'infrastructure de transport. Par exemple, dans le but de réduire les risques liés aux crues printanières dans les régions rurales du Nouveau-Brunswick à la suite de périodes de réchauffement rapide et de fonte des neiges, le gouvernement fédéral a investi 1,7 million de dollars en 2015 pour retirer de façon proactive la neige des routes dans huit collectivités des Premières nations vulnérables. Jusqu'à 800 camions de neige ont été retirés tous les jours de « l'infrastructure critique » (y compris les routes) dans

certaines collectivités. Au cours de l'hiver 2014, les chutes de neige locales régionales ont battu des records et contenaient un taux d'eau plus élevé que normalement, rendant l'élimination de la neige difficile pour certaines collectivités (Water Canada, 2015; Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, 2015).

5.0 TRANSPORT FERROVIAIRE : IMPACTS ET ADAPTATIONS

5.1 IMPACTS CONSTATÉS DANS LE PASSÉ ET RISQUES FUTURS

L'infrastructure ferroviaire au Canada atlantique est affectée par les changements climatiques et les météorologiques extrêmes de manière très similaire au réseau routier. Par exemple, les inondations (causées par les précipitations extrêmes, les ondes de tempête et les embâcles) ont eu des impacts sur les deux modes (Environnement Canada, 2010), et les tempêtes de neige qui ont causé des inondations sur les routes de Saint-Jean, à Terre-Neuve en 1959 et sur l'Île-du-Prince-Édouard en 1989 ont également submergé les rails et bloqué les trains (Environnement Canada, 2013b).

Onde de tempête, érosion côtière et hausse du niveau de la mer

Les voies ferroviaires situées à proximité des côtes du Canada atlantique sont vulnérables aux inondations, aux affouillements et dommages liés aux ondes de tempête et à l'érosion, ce qui peut parfois entraîner des déraillements. Par exemple, en 2003, l'ouragan Juan a causé des ondes de tempête de 1,5 à 2 m dans le port d'Halifax qui ont sévèrement érodé le rivage, causé l'affouillement des voies ferrées (figure 8) et emporté plusieurs wagons dans l'océan à la gare de triage de Dartmouth (Bowyer, 2003a). De même, l'ouragan Igor en 2010 a causé des dommages, l'emportement et des fermetures de lignes de chemin de fer, plus particulièrement à Terre-Neuve (Curtis et Ehrenfeld, 2012).

Figure 8 : Débris sur les rails à pointe Dartmouth le matin suivant l'ouragan Juan. La montée était de 1,64 m au-dessus du niveau d'eau le plus élevé enregistré à la station de marégraphe d'Halifax dans l'ensemble du havre, et les niveaux d'eau sont demeurés exceptionnellement élevés au moment de la prise de la photographie. (Source : Ressources naturelles Canada)



En 1974, une tempête de vent conjuguée à une haute mer a emporté 30 m de voie ferrée et fait dérailler deux trains diesel à Cape Ray, à Terre-Neuve (Heritage Newfoundland and Labrador, sd). L'érosion côtière a causé des dommages aux rails, la réduction des vitesses, des retards opérationnels et la fermeture de voies ferroviaires au Canada atlantique affectant le transport des marchandises telles que le papier, le charbon, le bois, les produits pétroliers et les produits chimiques (Genesee et Wyoming, Inc., sd). Ces perturbations ont des impacts négatifs sur les industries locales (y compris les installations intermodales) en raison des retards dans le transport, la production et le raffinement, et des recettes et des revenus délaissés.

Des ruptures de versants dans les zones côtières ont touché le Chemin de fer QNS & L (Batterson et coll, 1999; CBC News, 2014b) et continueront de poser des risques (Spooner et coll, 2013; Evan et coll, 2005). De même, les portions de la voie situées près du littoral de la section Cape Jack du Cape Breton and Central Nova Scotia Railway (CBNS) ont subi une érosion prononcée (Stephen Newson, gouvernement de la province de la Nouvelle-Écosse, communication personnelle, 2015; CBC News, 2014a).

En ce qui concerne l'avenir, l'isthme de Chignecto suscite des préoccupations considérables, puisqu'il est vulnérable aux inondations et que les risques d'inondations devraient augmenter au cours du XXI^e siècle en raison de la hausse du niveau de la mer (Webster et coll, 2011) (figure 9; voir l'étude de cas 5).

Figure 9 : Le CN dans l'isthme de Chignecto. Les remblais font partie du réseau de digues de la région. (Source : EOS EC0-Energy Inc.)



Précipitations extrêmes

Un grand nombre d'événements de précipitations abondantes documentés ont une incidence sur le transport ferroviaire au Canada atlantique. Par exemple, le 31 août 2007, les fortes pluies qui se sont abattues ont causé l'effondrement de certains ponceaux le long de la voie du CBNS au cap Breton, en Nouvelle-Écosse, ainsi que des affouillements à de nombreux endroits. La voie a été fermée pendant environ trois semaines aux fins de réparation et de remplacement des rails, perturbant le transport des marchandises (Stephen Newson, gouvernement de la province de la Nouvelle-Écosse, communication personnelle, 2015). En tout, l'incident a coûté plus de 500 000 \$ à la compagnie de chemin de fer (Province of Nova Scotia, 2007a; 2007b).

En avril 2003, les ponceaux sous une voie ferrée se sont affaissés lors d'une importante tempête à Ellershouse, en Nouvelle-Écosse (Stephen Newson, gouvernement de la province de la Nouvelle-Écosse, communication personnelle, 2015). De même, une forte tempête tropicale survenue en décembre 2010 a causé des dommages importants à l'infrastructure ferroviaire près de Fredericton, au Nouveau-Brunswick, alors que des précipitations extrêmes ont emporté des ponts ferroviaires et affaibli les assiettes des rails (Environnement Canada, 2013c). Étant donné que l'intensité, la durée et la fréquence des précipitations extrêmes devraient augmenter (Bush et coll, 2014), ces impacts pourraient devenir plus sévères.

Les chutes de neige importantes perturbent également le transport ferroviaire dans le Canada atlantique. Par exemple, les tempêtes de neige qui ont frappé la Nouvelle-Écosse au cours de l'hiver 2015 ont retardé le transport ferroviaire de marchandises et les services à partir d'installations multimodales vers les marchés nord-américains, ce qui s'est avéré coûteux pour les exploitants (Henderson, 2015; Cuthbertson, 2015). Les fortes chutes de neige sont susceptibles de continuer à affecter le transport ferroviaire au Canada atlantique au moins à court terme.

Inondations dues aux embâcles

Les inondations des terres intérieures causées par la fonte des neiges et les embâcles¹ ont également causé des dommages importants aux réseaux ferroviaires. Les inondations résultant d'embâcles tendent à causer plus de dommages aux infrastructures que les événements en eau libre, aux ponts en particulier. Par exemple, lors de la crue de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick en février 1970, des embâcles formés dans six rivières ont causé la destruction de 32 ponts (routiers et ferroviaires) et endommagé 124 autres (voir figure 10) (Gouvernement du Nouveau-Brunswick, 2012).

En avril 1987, un embâcle a provoqué l'affaissement du pont ferroviaire de Perth-Andover lors d'importantes inondations printanières au Nouveau-Brunswick. Des wagons chargés avait été placés sur le pont dans l'espoir de retenir l'embâcle et de prévenir les inondations en aval, une pratique qui avait été employée avec succès lors d'un événement de crue printanière moins sévère en 1976. Cependant, en 1987, la pression des glaces et des eaux de crue a causé l'affaissement du pont (Environnement Canada, 2010). Dans le futur, la probabilité d'inondations causées par des embâcles devrait augmenter à mesure que le calendrier des changements saisonniers devient plus variable d'une année à l'autre (Gouvernement du Nouveau-Brunswick, 2014).

Figure 10 : Embâcle printanier sous un pont ferroviaire sur la rivière Saint-Jean. (Source : Société d'énergie du Nouveau-Brunswick)



Température

L'augmentation de la température moyenne de l'air et l'évolution des extrêmes posent des risques incertains pour le transport ferroviaire au Canada atlantique. Les changements extrêmes de température (faible et élevée) causent la dilatation ou la contraction des rails, ce qui peut provoquer des déraillements (Dobney et coll, 2008; Peterson et coll, 2008; Ministère des Transports et du Renouvellement de l'infrastructure de la Nouvelle-Écosse, 2014). En outre, la chaleur extrême durant l'été peut entraîner le gauchissement des rails causé par l'expansion des matériaux au-delà des limites conceptuelles raisonnables, ce qui cause le « flambage de la voie » (Dobney et coll, 2008). Ce problème a toujours été rare dans les provinces de l'Atlantique (Stephen Newson, gouvernement de la province de la Nouvelle-Écosse, communication personnelle, 2015). Cependant, la région a connu des incidents causés ou exacerbés par des changements rapides de température. Par exemple, l'enquête sur un déraillement survenu dans le comté de Pictou, en Nouvelle-Écosse en juin 2014 a révélé que le gauchissement de la voie « produit par une variation de température soudaine et inhabituelle du rail et un cumul des points de tension de l'acier » avait été un facteur important (Province of Nova Scotia, 2014). Le changement extrême de température est également considéré comme ayant été un facteur majeur dans le déraillement d'une voie principale à Milford, en Nouvelle-Écosse en 2002 (Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2003). La fréquence de ces événements et la probabilité d'un accident grave pourraient augmenter en raison de l'augmentation des températures au cours du 21^e siècle (Dobney et coll., 2008).

5.2 PRATIQUES D'ADAPTATION

Bien que les exemples documentés soient limités, les exploitants ferroviaires du Canada atlantique ont déployé des efforts pour réduire les futurs risques climatiques. Par exemple, un système de ponceaux et d'aboiteaux⁸ d'urgence à Hantsport, en Nouvelle-Écosse a été construit afin de gérer les débits d'eau accrus au moyen de systèmes de ponceaux sous les voies ferrées (figure 11). Les sorties de

⁸ Désigne une série de digues de protection installées autour des terres agricoles en zones de faible élévation pour prévenir les inondations par les marées (Hatvany, 2002).

trop-plein permettent à l'excès d'eau lors d'événements extrêmes de précipitations ou d'inondations de s'écouler du ponceau par la voie d'un autre itinéraire. Ce système empêche les [éruptions de ponceaux] lors de périodes de grands débits (Stephen Newson, gouvernement de la province de la Nouvelle-Écosse, communication personnelle, 2015).

Figure 11 : Système d'aboiteaux à Hantsport, en Nouvelle-Écosse. (Source : Danika Van Proosdij)



Dans le passé, la solution habituelle à l'érosion sous les voies de chemin de fer consistait à remplacer la pierre détachée ou calée. Toutefois, en raison de l'augmentation de la fréquence des réparations et des coûts associés, cette méthode pourrait ne plus être suffisante ou efficace (Stephen Newson, gouvernement de la province de la Nouvelle-Écosse, communication personnelle, 2015). Les barrières physiques telles que les digues ont également été utilisées pour protéger l'infrastructure ferroviaire de l'impact des inondations et de l'érosion causées par les ondes de tempête, mais ces protections pourraient être insuffisantes dans le futur. Par exemple, différentes mesures options en matière d'adaptation sont actuellement à l'étude pour les systèmes de digues dans l'isthme de Chignecto (étude de cas 5).

L'une des pratiques qui est utilisée pour augmenter la résilience de l'infrastructure ferroviaire vulnérable aux températures extrêmes est de remplacer les rails soudés par des segments de rail plus courts dotés de joints qui permettent à la voie de se dilater ou de se contracter (Lim et coll., 2003). (Les rails soudés, dont les segments sont plus longs, permettent de réduire les coûts d'entretien globaux de la voie et augmentent la durée de vie moyenne des composants de la voie dans des conditions de températures modérées). Par exemple, après le déraillement de juin 2014 à Pictou, 300 pieds de rails soudés ont été remplacés à partir du point de déraillement par des panneaux de voie de 39 pieds plus faciles à entretenir et à remplacer en cas de stress causé par la chaleur ou les variations de température. En outre, l'entreprise a effectué un test de stress de la voie ferrée et les employés ont revu les exigences en matière d'entretien. Pour empêcher la survenue d'événements similaires à l'avenir, la compagnie de chemin de fer a mis au point un nouveau programme de formation technique, et a limité la vitesse des trains à 40 km/h pendant les mois d'été et la vitesse peut même être réduite davantage à 16 km/h lorsque cela est justifié en raison des conditions de chaleur extrême (Province of Nova Scotia, 2014).

6.0 TRANSPORT MARITIME

6.1 IMPACTS CONSTATÉS DANS LE PASSÉ ET RISQUES FUTURS

Les mauvaises conditions climatiques et les tempêtes ont une incidence depuis longtemps sur le transport maritime au Canada atlantique, perturbant les opérations et endommageant les navires, les ports et les infrastructures de navigation. Ces impacts présentent des défis particuliers pour Terre-Neuve-et-Labrador qui doit s'appuyer fortement sur le transport maritime pour le réapprovisionnement et la connectivité (CBC News, 2015 b, 2015c). Au cours du dernier siècle, l'amélioration des technologies prévisionnelles et de surveillance ont contribué à considérablement réduire les risques aux conditions météorologiques extrêmes pour les exploitants de navires. Cependant, les ports et les navires demeurent vulnérables à un certain nombre de risques futurs associés aux changements climatiques. Selon les estimations, la perte de productivité liée aux perturbations causées par les conditions météorologiques dans l'industrie du transport maritime au Canada atlantique s'élève à des millions de dollars annuellement (Catto et coll., 2006).

Précipitations, conditions météorologiques extrêmes, ondes de tempête et hausse du niveau de la mer

Les ouragans ont causé d'importants dommages à l'infrastructure maritime et aux navires dans le passé. Durant l'ouragan Juan, des ondes de tempête de 1,5 à 2 m et des rafales atteignant jusqu'à 230 km/h ont endommagé des quais côtiers et d'autres infrastructures portuaires côtières dans le port d'Halifax, poussé des conteneurs par-dessus bord, détaché des bouées météorologiques en plus de couler et d'endommager des navires (Bowyer, 2003a Bowyer, 2003b). « Juan blanc », un nordet de force ouragan survenu en février 2004 (cinq mois après l'ouragan) a entraîné des vagues de 10 à 15 m et une onde de tempête qui ont endommagé davantage les ports en Nouvelle-Écosse (Environnement Canada, 2013a). En 1995, lors de l'ouragan Luis, une vague de 30 m avait frappé un paquebot près de la côte de Terre-Neuve (Environnement Canada, 2013b).

On prévoit que les hausses des niveaux de la mer et des ondes de tempête poseront des risques accrus au cours du 21^e siècle (Bush et coll., 2014). Une hausse du niveau de la mer de l'ordre de 70 à 100 cm est projetée pour de nombreuses régions côtières importantes du Canada atlantique d'ici 2100 (Savard et coll, 2016) et, dans certains cas, des marées et des ondes de tempête plus élevées pourraient inonder les quais, les terminaux et les équipements de chargement et causer des dommages importants en l'absence de mesures d'adaptation (Andrey et Mills, 2003). Les figures 12a et 12b illustrent l'étendue possible de l'inondation du port d'Halifax en 2100, calculée en fonction de deux scénarios de hausse du niveau de la mer (probabilités de hausse élevée et de faible hausse). À certains endroits, la hausse du niveau de la mer pourrait permettre l'entrée de navires ayant de plus grands tirants d'eau et de charges plus lourdes (Andrey et Mills, 2003).

Figure 12a : Étendue et ampleur de l'inondation advenant une hausse du niveau de la mer de 0,57 m sur dix ans dans le port d'Halifax (très probable). Pour ces projections, on suppose que l'intensité et la fréquence des tempêtes n'augmentent pas à l'avenir. (Source : Forbes et coll, 2009)

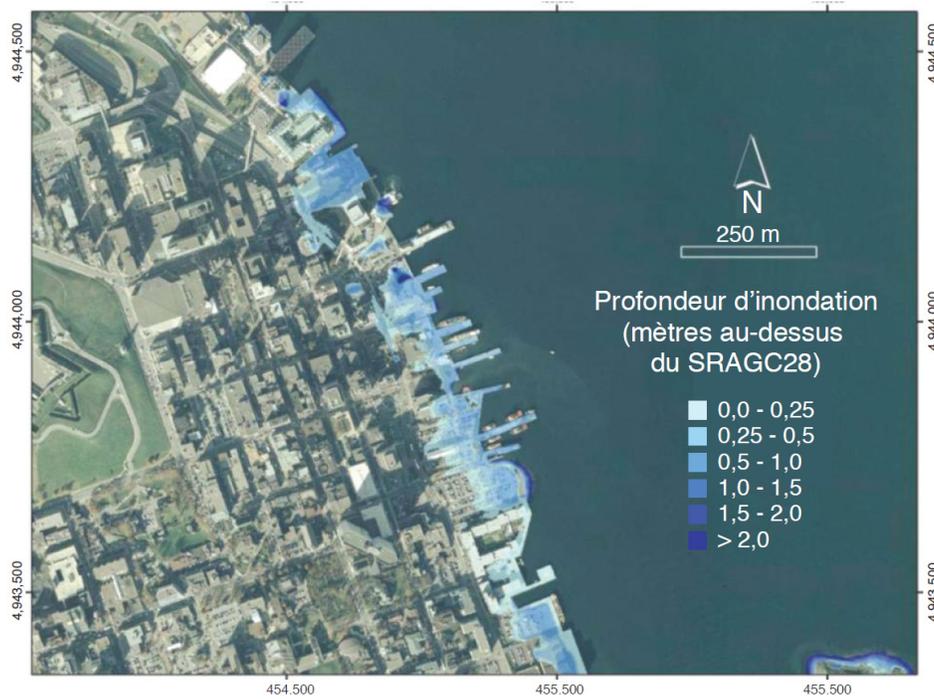
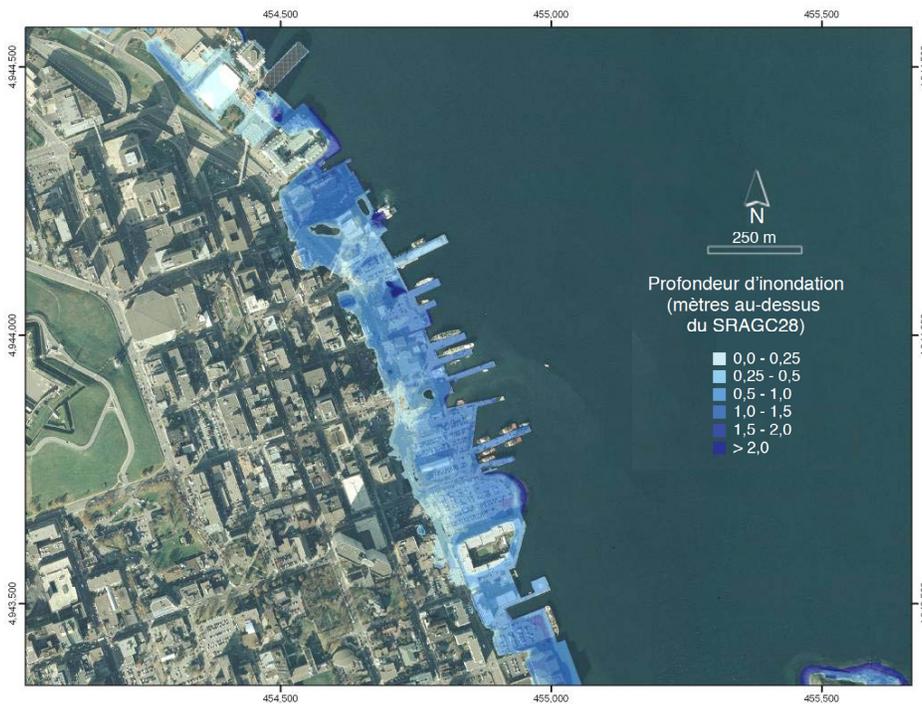


Figure 12b : Étendue et ampleur de l'inondation advenant une hausse du niveau de la mer de 1,3 m sur 50 ans (moins probable) dans le port d'Halifax. Pour ces projections, on suppose que l'intensité et la fréquence des tempêtes n'augmentent pas à l'avenir. (Source : Forbes et coll, 2009)



Glaces de mer et vents

Les vents violents ont été la source de retards coûteux pour des services de transbordeur desservant Terre-Neuve, le Labrador et la Nouvelle-Écosse (Cape Breton Post, 2015; Catto et coll., 2006). Combiné à la fragmentation des glaces de mer et aux embâcles saisonniers précoces, les vents posent des risques supplémentaires pour la navigation. Par exemple, à l'hiver 2015, les glaces entassées dans le détroit de Belle-Isle ont causé de longs retards et de la frustration chez les passagers se déplaçant entre Terre-Neuve et le Labrador (CBC News, 2015b). De même, les vents de l'est plus en plus puissants à Channel-Port aux Basques, à Terre-Neuve, peuvent menacer la fiabilité du transport par transbordeur dans la région, un corridor important reliant l'île à la terre ferme (Catto et coll., 2006).

Les vents violents continueront de poser des risques pour les navires et les ports en raison des augmentations projetées de la fréquence des événements météorologiques extrêmes. Du même coup, le temps plus doux durant l'été et l'étendue et la durée décroissantes des glaces de mer offriront des avantages potentiels pour la navigation commerciale, l'industrie des croisières et l'écotourisme en raison du prolongement de la saison du transport maritime (Andrey et Mills, 2003; Leys, 2009; Savard et coll., 2016).

ÉTUDE DE CAS 3

ÉTUDE DE CAS 3 : PLANIFICATION EN VUE DES FUTURES CONDITIONS CLIMATIQUES EXTRÊMES AU PORT D'HALIFAX

Le gouvernement de la Nouvelle-Écosse, avec le soutien de Ressources naturelles Canada, mène une étude de cas sur les impacts des changements climatiques sur les infrastructures de transport côtières dans le port d'Halifax. Les chercheurs utilisent l'analyse coûts-avantages pour évaluer les vulnérabilités aux changements des paramètres climatiques et les options en matière d'adaptation. L'analyse se concentre sur les transferts depuis les modes de transport maritime et intermodal vers le transport par camion et par train. L'analyse inclut une enquête sur la façon dont les retards dans le transport ferroviaire causés par des conditions météorologiques extrêmes ou par des dommages aux infrastructures peuvent avoir une incidence sur l'acheminement des marchandises vers les ports maritimes. Les résultats de cette étude n'étaient pas disponibles au moment de la rédaction de ce rapport.

Les variables examinées dans l'étude comprenaient la hausse du niveau de la mer, les ondes de tempête et l'affaissement du littoral. Les cartes et les modèles informatiques ont été utilisés pour visualiser les impacts potentiels sur le système. Les participants volontaires dans l'étude comprenaient les exploitants ferroviaires du CN et des ports importants. Cette analyse coûts-avantages permettra de démontrer les impacts des changements climatiques pour les entreprises près du port d'Halifax.

Rédigé avec la collaboration de Shawn MacDonald, (Unité des changements climatiques, Gouvernement de la Nouvelle-Écosse).

6.2 PRATIQUES D'ADAPTATION

Les exploitants et les ports maritimes du Canada atlantique ont eu recours à un certain nombre de pratiques pour améliorer leur résilience face aux risques climatiques et météorologiques extrêmes. Un exemple est le port de Bay Bulls (figure 13), un centre économique à l'est de Terre-Neuve, en proximité de St. John's et des lieux de pêche productifs des Grands Bancs. En 2010, l'ouragan Igor a causé des dommages importants au port. Lors de la construction du port, la collectivité a choisi d'inclure des mesures d'adaptation afin de mieux résister aux futures conditions de tempête. La hausse du niveau de la mer, les ondes de tempête de même que les conditions météorologiques extrêmes ont été prises en compte. Pour ces raisons, le nouveau port a été construit 0,5 m plus haut qu'auparavant, que son orientation a été modifiée, et qu'un un brise-lames de 1,5 m a été construit pour fournir une protection accrue. Le port de Bay Bulls et ses actifs économiques sont maintenant mieux préparés aux conditions météorologiques plus intenses (Office of Climate Change, Energy

Efficiency and Emissions Trading, 2013). De plus en plus d'analyses coûts-avantages démontrent que les dépenses en immobilisations et d'autres dépenses aident à réduire les risques de dommages aux infrastructures et permettent des économies à long terme (voir l'étude de cas 5).

Figure 13 : Port de Bay Bulls, à Terre-Neuve.
(Source : Bureau du changement climatique et de l'efficacité énergétique, gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador)



Figure 14 : Bouée SmartAtlantic à St. John's, à Terre-Neuve. (Source : Fisheries and Marine Institute of Memorial University)



L'utilisation de nouvelles technologies pour réduire les risques climatiques est un domaine d'adaptation peu exploré. Par exemple, le Fisheries and Marine Institute of Memorial University à Terre-Neuve et l'Institute for Ocean Research Enterprise d'Halifax ont récemment mis au point l'initiative SmartAtlantic Alliance afin de moderniser davantage le système de navigation maritime au Canada en fournissant des données météorologiques et hydrologiques précises et en temps réel. Les données générées par les bouées SmartAtlantic (figure 14) sont utilisées pour produire des prévisions à haute résolution des conditions météorologiques et de la mer et à des fins de recherche scientifique.

La technologie est actuellement utilisée dans sept ports de l'Atlantique (voir l'étude de cas 4) et l'industrie du transport maritime, les plaisanciers et les armateurs, les chercheurs et les membres intéressés du public peuvent désormais accéder en ligne à des données en temps réel sur la météo et la direction des vagues à ces endroits. La technologie a été conçue pour optimiser l'efficacité sans compromettre la sécurité de la navigation, ainsi que pour améliorer la fiabilité des opérations portuaires dans diverses conditions météorologiques et climatiques (Gouvernement du Canada, 2014; Ministère des Transports et de l'Infrastructure du Nouveau-Brunswick, 2015).

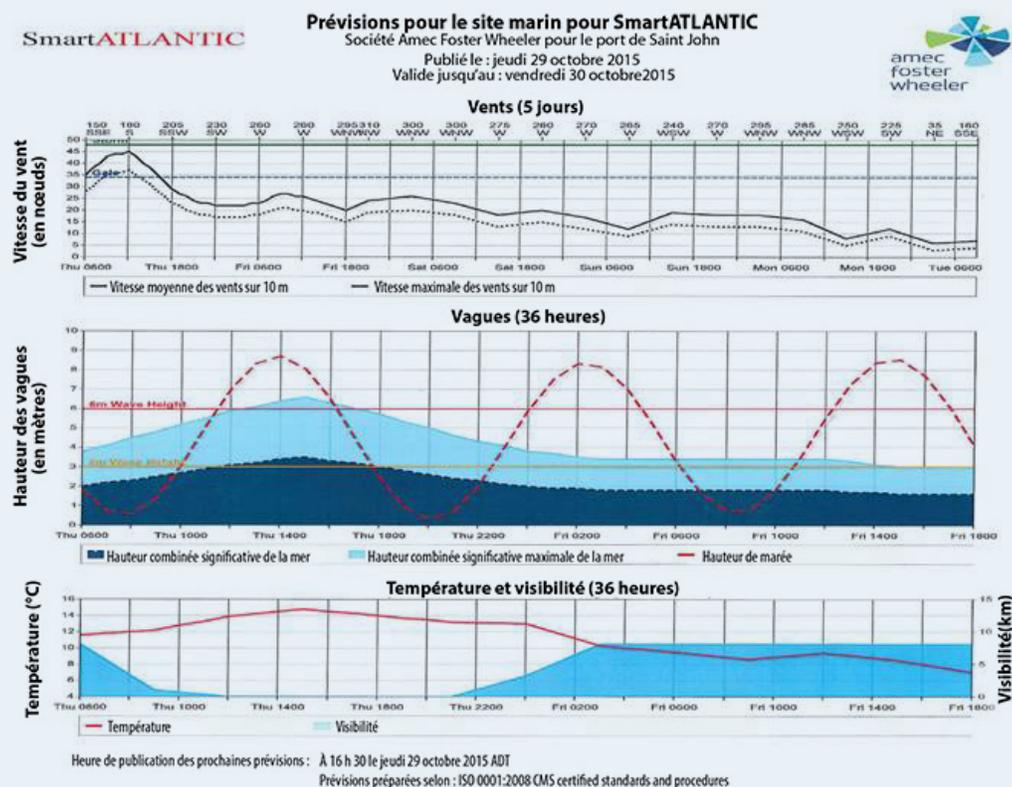
ÉTUDE DE CAS 4 : ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES À PORT SAINT JOHN

Le port de Saint John est le plus grand port du Canada atlantique par tonnage. Il est extrêmement important pour le réseau commercial du Canada, reliant les marchés mondiaux au centre du Canada par rail et par route, et desservant les industries régionalement importantes telles que l'industrie de la potasse, l'industrie pétrolière et le tourisme (à savoir l'industrie des croisières). Par conséquent, les perturbations et les impacts liés au climat sur l'exploitation du port peuvent avoir des répercussions négatives sur l'économie ainsi que sur la rentabilité du port. Les exploitants portuaires ont relevé un certain nombre de risques pour l'infrastructure et les opérations liés aux conditions climatiques extrêmes, variables ou changeantes. Les problèmes hydrologiques, principalement les crues (à savoir, les inondations causées par la fonte de la neige et de la glace au printemps dans les rivières canadiennes) ont été particulièrement problématiques.

La hausse du niveau de la mer et l'augmentation des ondes de tempête projetées posent des risques pour l'infrastructure portuaire conçue pour une durée de vie de 100 ans. À la fin de 2015, et au début 2016, le port de Saint John a connu un nombre anormalement élevé d'événements de vents forts qui ont produit des ondes de tempête fréquentes dans l'arrière-port. Au cours d'un événement particulièrement intense survenu le 29 octobre 2015 (dont la pointe a coïncidé avec une marée anormalement élevée), l'infrastructure a subi des dommages évalués à environ 20 000 \$ (Chris Hall, port de Saint John, communication personnelle, 2016).

Plusieurs mesures planifiées et mises en œuvre par le port dans le cadre de ses activités de modernisation devraient rendre le port plus résistant aux conditions climatiques variables et changeantes et plus fiable pour les transporteurs maritimes et la marine marchande. Par exemple, la bouée météorologique côtière « SmartAtlantic » ainsi qu'un outil de prévision des vagues ont été lancés récemment. La figure 15 fournit un exemple des données prévisionnelles générées par la bouée SmartAtlantic du port de Saint John. Ces données ont prédit avec précision l'onde de tempête survenue le 29 octobre 2015.

Figure 15 : Données générées par la bouée SmartAtlantic pour le port de Saint John (29 octobre 2015).
(Source : Chris Hall, Port de Saint John)





Le Port entreprend également une planification à long terme pour son infrastructure dans le cadre d'un plan de modernisation du port. Une étude technique préliminaire à l'appui de ces efforts a explicitement tenu compte de l'élévation future du niveau de la mer sur la base des modèles à haute résolution pour la baie de Fundy (Dupont et coll., 2005).

Rédigé avec la collaboration de Chris Hall (port de Saint John); avec renseignements supplémentaires fournis par Tyler O'Rourke (port de Saint John).

7.0 TRANSPORT AÉRIEN

7.1 IMPACTS CONSTATÉS DANS LE PASSÉ ET RISQUES FUTURS

Selon les praticiens, dans l'ensemble, les aéroports de la région de l'Atlantique sont bien équipés pour fonctionner dans des conditions météorologiques difficiles. Cependant, les événements météorologiques extrêmes et les tempêtes, y compris les pluies abondantes, les fortes chutes de neige et les vents violents, peuvent entraîner des retards et des annulations de vols, des pertes économiques associées et des inconvénients pour les voyageurs. Les retards de vols sont particulièrement problématiques pour Terre-Neuve, qui s'appuie sur l'aviation (ainsi que sur le transport maritime) pour la connectivité.

Les aéroports cherchent à maintenir les installations ouvertes dans toutes les conditions météorologiques, en particulier pour les services médicaux d'urgence qui nécessitent l'utilisation des pistes et des installations aéroportuaires. Le défi pour les aéroports est d'assurer l'efficacité des services tout en assurant la sécurité des opérations dans des conditions météorologiques extrêmes. Les aéroports de l'Atlantique sont particulièrement préoccupés par la hausse des coûts d'exploitation entraînés par des conditions météorologiques plus variables et sévères (Helen MacInnis, aéroport J.A. Douglas McCurdy de Sydney, communication personnelle, 2015; Andrew Isbill, Autorité aéroportuaire de Fredericton, communication personnelle, 2015).

Précipitations et tempêtes

Les précipitations, y compris la pluie, la neige et la pluie verglaçante sur les pistes peuvent compromettre la friction et la visibilité nécessaires aux avions pour décoller et atterrir. Les coûts opérationnels peuvent également augmenter de manière significative en réponse aux chutes de neige extrêmes (Helen MacInnis, aéroport J.A. Douglas McCurdy de Sydney, communication personnelle, 2015).

La fréquence accrue des tempêtes (et des précipitations et des inondations associées) au cours du 21^e siècle pourrait entraîner d'autres pertes de revenus en raison des perturbations opérationnelles. Ces types de retards pourraient également augmenter les coûts d'exploitation associés aux besoins de plus d'avions, à l'entretien des installations et à l'amélioration des infrastructures de soutien, comme les routes d'accès et les installations de drainage (Transportation Research Board, 2008).

Alors que les ondes de tempête, l'érosion et la hausse du niveau de la mer présentent des risques régionaux à l'infrastructure côtière, la plupart des aéroports du Canada atlantique sont construits sur des terrains relativement élevés ce qui réduit la vulnérabilité aux inondations côtières.

Les systèmes de drainage sont habituellement efficaces pour réduire les risques d'inondation des pistes. Cependant, des événements de précipitations extrêmes ont dans certains cas inondé les routes d'accès et de service ainsi que les parcs de stationnement d'aéroports du Canada atlantique.

Parfois, ces inondations ont causé des retards ou l'annulation de vols, comme ce fut le cas à l'aéroport international Stanfield d'Halifax au cours d'un intense nordet (CBC News, 2014c).

La fréquence accrue d'orages et d'ouragans est aussi une préoccupation pour certains aéroports du Canada atlantique compte tenu de leur potentiel de perturber les opérations et qu'ils posent des risques pour la sécurité (par exemple, en réduisant la visibilité durant l'atterrissage ou le décollage). Bien que l'augmentation des occurrences de ce genre de tempêtes ne soit pas reflétée dans les données historiques, l'aéroport de Sydney a documenté une fréquence accrue à court terme (Helen MacInnis, aéroport J.A. Douglas McCurdy de Sydney, communication personnelle, 2015).

Vents

Les vents violents peuvent entraîner le retard, l'annulation ou le réacheminement de vols lorsque les vents latéraux sont trop forts pour permettre aux avions de décoller ou d'atterrir en toute sécurité (United Kingdom Department for Transport, 2014). Le vent peut également endommager l'équipement au sol. Par exemple, en 2012, des vents violents ont abattu un réseau (système d'atterrissage aux instruments) à l'aéroport J.A. Douglas McCurdy de Sydney, en Nouvelle-Écosse, perturbant les opérations d'atterrissage et obligeant NAV CANADA à effectuer des réparations imprévues et coûteuses (Helen MacInnis, aéroport J.A. Douglas McCurdy de Sydney, communication personnelle, 2015).

Les pannes de courant accompagnant les tempêtes de vent peuvent créer de graves problèmes pour le transport aérien. Par exemple, lorsque l'ouragan Arthur a frappé les Maritimes à l'été 2014, l'aéroport international de Fredericton a manqué d'électricité et a dû recourir à un générateur de secours (Andrew Isbill, Autorité aéroportuaire de Fredericton, communication personnelle, 2015). Le générateur a permis à l'aéroport de poursuivre certaines opérations malgré les préoccupations des exploitants quant à sa possible défaillance. La fréquence accrue d'événements de forts vents augmentera les risques associés à ces impacts, bien que les données suggèrent que la vitesse moyenne quotidienne du vent ne devrait pas augmenter considérablement dans la région de l'Atlantique (Loder et coll, 2013).

Température

Le transport aérien dans la région de l'Atlantique est également vulnérable aux changements de température. L'augmentation des cycles de gel et de dégel pose des risques pour la stabilité des pistes, tandis que la chaleur et le froid extrêmes réduisent le rendement des moteurs et l'efficacité énergétique des aéronefs (Transportation Research Board, 2008).

L'augmentation de la turbulence causée par la température plus élevée (densité accrue de l'air) devrait avoir des répercussions sur les vols dans le nord de l'Atlantique d'ici le milieu du siècle. La proportion du temps de vol passé dans des conditions de « turbulence modérée ou supérieure » pour les voyages transatlantiques pourrait augmenter de 40 à 170 % d'ici le milieu du siècle, donnant lieu à des temps de vol plus longs, à une consommation accrue de carburant et à plus d'émissions de gaz à effet de serre (Williams et Joshi, 2013).

7.2 PRATIQUES D'ADAPTATION

Les mesures d'adaptation dans les aéroports de l'Atlantique ne sont pas bien documentées dans le domaine public. Toutefois, l'industrie aérienne dans la région de l'Atlantique est confrontée à un bon nombre des mêmes risques climatiques que les exploitants dans d'autres administrations canadiennes (y compris les événements météorologiques extrêmes et les températures extrêmes). Ainsi, beaucoup des pratiques décrites dans d'autres chapitres du présent rapport s'appliquent au Canada atlantique. Les pratiques générales d'évitement des risques comprennent des procédures normalisées pour accéder aux prévisions météorologiques et planifier les vols et des instruments de bord avancés.

8.0 ÉVALUATIONS DES RISQUES ET ANALYSES COÛTS-AVANTAGES POUR LE TRANSPORT MULTIMODAL

Certaines initiatives du Canada atlantique ont tenu compte de la vulnérabilité du réseau de transport de la région en focalisant sur le plan multimodal. Ces initiatives comprennent des évaluations des risques et d'analyse coûts-avantages des impacts des changements climatiques et des options en matière d'adaptation pour les infrastructures de transport.

8.1 ÉVALUATIONS DES RISQUES

En 2012, le ministère des Pêches et des Océans (MPO) a terminé une évaluation par des experts des risques pour les infrastructures, les voies navigables et les systèmes biologiques dans le Grand bassin aquatique (GBA) de l'Atlantique qui comprend le plateau continental de Terre-Neuve-et-Labrador, la plate-forme néo-écossaise et le golfe du Maine (Ministère des Pêches et des Océans, 2013). Le processus d'évaluation a recensé et évalué six principaux risques en fonction de « l'exposition au risque » (vulnérabilité aux impacts) sur des horizons temporels de 10 et 50 ans. Les risques relatifs au transport incluent une demande accrue pour les services d'urgence, les dommages aux infrastructures et les changements dans la navigabilité des cours d'eau. Parmi ces derniers, il a été déterminé que les plus grands risques sont posés à l'infrastructure par les changements climatiques sur les deux échelles de temps. Les auteurs soulignent que la méthodologie utilisée pour l'évaluation peut être appliquée à l'évaluation des risques à plus petite échelle des ports et des systèmes de transport côtiers du Canada atlantique.

Des institutions publiques et privées élaborent des outils pour aider à l'évaluation des risques liés aux changements climatiques. Par exemple, l'outil (CLIVE) « Coastal Impact Visualization Environment » créé en partenariat par l'Université de l'Île-du-Prince-Édouard (UPEI) et l'Université Simon Fraser, présente une « visite virtuelle » des impacts probables de l'érosion côtière et des ondes de tempête sur l'Île-du-Prince-Édouard. CLIVE est actionné à l'aide d'un contrôleur de jeu et permet à l'utilisateur de « survoler » le littoral de l'Île-du-Prince-Édouard et d'examiner les niveaux de la mer observés et futurs (à des intervalles de 30, 60 et 90 années dans le futur). L'outil quantifie les risques liés à la hausse du niveau de la mer, y compris la perte de terres. Cet outil est utile pour évaluer les infrastructures de transport qui peuvent être vulnérables aux changements côtiers afin de mieux planifier les changements dans l'entretien, la structure ou l'emplacement à court et à long terme (Office of the Vice-President, Research, 2015).

8.2 ANALYSE COÛTS-AVANTAGES

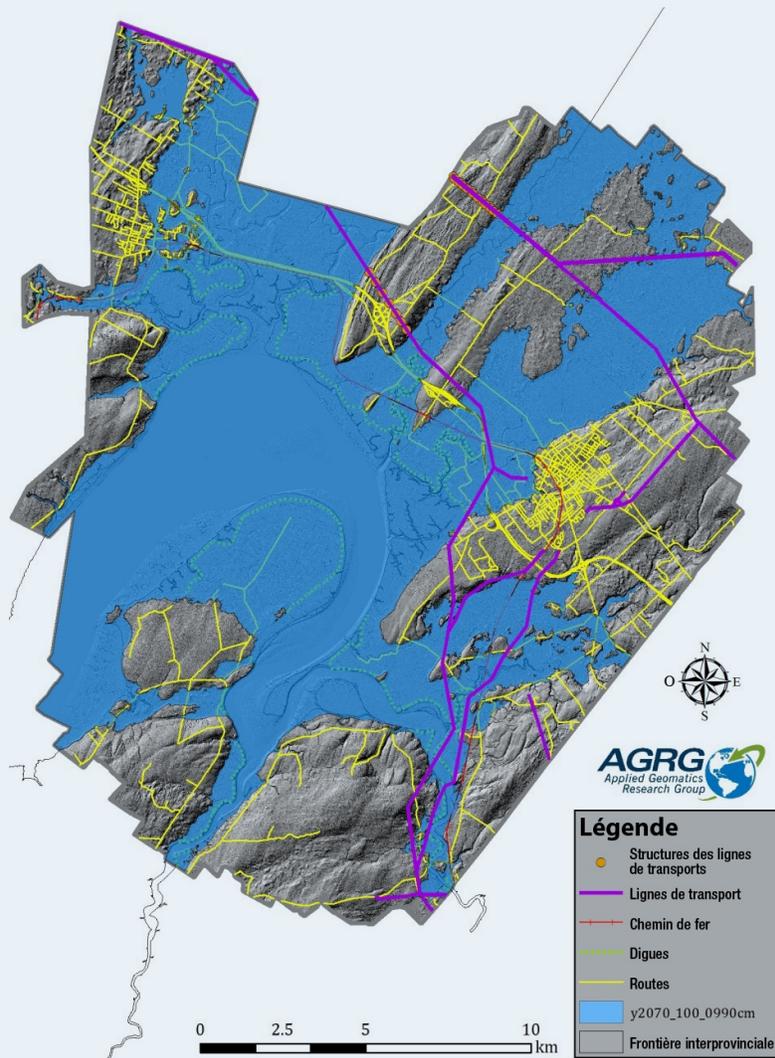
Certains praticiens de la région ont entrepris des analyses coûts-avantages des options en matière d'adaptation afin de s'assurer que les avantages d'une option donnée l'emportent sur les coûts associés aux changements climatiques. Les coûts des dommages directs et indirects (perturbations et fermetures) liés aux impacts climatiques sur les systèmes de transport peuvent être considérables. Du même coup, les efforts d'adaptation peuvent s'avérer coûteux – l'infrastructure est coûteuse à construire, et la mise en place des changements dans les pratiques opérationnelles peut entraîner des retards, de la confusion et d'autres inefficacités à court terme (Füssel, 2007). L'étude de cas 5 présente un résumé de l'analyse coûts-avantages et des options en matière d'adaptation et des impacts climatiques pour l'isthme de Chignecto.

ÉTUDE DE CAS 5 : ADAPTATION AUX RISQUES D'INONDATION ET D'ONDE DE TEMPÊTE DANS L'ISTHME DE CHIGNECTO

L'isthme de Chignecto est l'un des corridors de transport les plus importants du Canada, et le seul pont de terre se reliant la partie continentale du Canada (Nouveau-Brunswick) à la Nouvelle-Écosse. Les zones marécageuses dans l'isthme ont été endiguées dans les années 1700 pour l'agriculture. Depuis ce temps, d'importantes infrastructures ont été construites dans cette région, y compris la Transcanadienne, le chemin de fer du CN et les lignes de transport d'électricité desservant la Nouvelle-Écosse. Le commerce dans l'isthme s'effectue par la route et le rail alors que des marchandises d'une valeur estimée de 50 millions de dollars y circulent quotidiennement, et 20 milliards de dollars annuellement.

Des études récentes démontrent la vulnérabilité de la région à la hausse du niveau de la mer et aux inondations par les ondes de tempête (Webster et coll., 2011, Lieske and Bornemann, 2012; and Webster et coll., 2012). En 2100, 38 km de digues, 19 km de chemin de fer et à 19 km de la Transcanadienne pourraient être gravement touchés par des inondations résultant d'un événement de 1 chaque 100 ans (figure 16). Cependant, il y a un manque d'information sur les coûts économiques associés à ces impacts dans la région de Chignecto.

Figure 16 : Un événement d'inondation qui se produit tous les 100 ans (en bleu) dans l'isthme de Chignecto en 2070 par rapport aux infrastructures routières, ferroviaires et de transport d'électricité. (Source : MacDonald et Webster, Groupe de recherche de la géométrie appliquée)





Une analyse coûts-avantages (ACA) collaborative des options en matière d'adaptation (y compris le maintien du statu quo) a été entreprise pour évaluer les impacts économiques liés à la hausse du niveau de la mer et aux ondes de tempête sur les infrastructures importantes (autoroutes, voies ferroviaires, digues agricoles et électricité) et le commerce dans l'isthme. Le projet est une collaboration entre les provinces du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse et Ressources naturelles Canada. L'ACA avait trois objectifs :

1. Approfondir les évaluations locales existantes des impacts des changements climatiques et des options en matière d'adaptation en y ajoutant une analyse économique.
2. Quantifier les coûts économiques associés aux dommages liés aux inondations pour le corridor de transport afin de démontrer les avantages (financiers et autres) associés aux possibles options en matière d'adaptation.
3. Appuyer les décideurs à prendre des décisions éclairées concernant les investissements en matière d'adaptation.

Six options en matière d'adaptation ont été évaluées (voir tableau 3). Ces options se concentrent principalement sur les changements qui pourraient être apportés à la gestion des digues agricoles dans l'isthme, qui protègent actuellement les terres agricoles contre les inondations dues à la marée et fournissent une protection supplémentaire pour les routes, les voies ferrées et l'infrastructure. Cependant, les digues ne sont pas conçues pour résister à de violentes tempêtes. Un compte-rendu des options d'adaptation est présenté ci-dessous. L'un des principaux énoncés de l'étude était qu'aucune option ne devait entraîner des risques ou des dommages accrus aux collectivités et aux infrastructures municipales de Sackville et d'Amherst.

Tableau 3 : Options en matière d'adaptation évaluées dans l'ACA de l'isthme de Chignecto.

Numéro de l'option	Option en matière d'adaptation	Description
1	Digues agricoles, emplacements actuels	Élévation ou rehaussement des digues aux emplacements actuels à 10 m. L'infrastructure publique non protégée derrière les digues.
2	Digues agricoles, raccourcissement	Combinaison : Rehaussement des digues et reconstruction à 10 m aux emplacements actuels, mais raccourcissement de certaines sections. Élévation de l'infrastructure.
3	Digues artificielles, emplacements actuels	Construction de digues artificielles sur les digues existantes, adaptées aux conditions de 2070, 1 chaque 100 ans (10 m).
4	Digues artificielles, raccourcissement, protection de l'infrastructure publique seulement	Raccourcir les digues, construire des digues artificielles sur les digues actuelles ainsi que de nouveaux segments adaptés aux conditions de 2070, 1 chaque 100 ans (10 m); élever les voies ferroviaires non protégées par des digues existantes.
5	Digues artificielles, raccourcissement, protection de toute l'infrastructure	Raccourcir les digues, construire des digues artificielles sur les digues actuelles ainsi que de nouveaux segments adaptés aux conditions de 2070, 1 chaque 100 ans (10 m).
6	Modification du tracé de la Transcanadienne (50 km)	Modifier le tracé d'un tronçon de 50 km de la Transcanadienne.





RÉSULTATS

L'ACA est une analyse de haut niveau destinée à fournir une orientation stratégique concernant les options en matière d'adaptation – n'est pas destinée pour orienter les décisions en matière d'opérations ou de coûts.

Le coût des impacts associés aux changements climatiques au cours de la période 2015-2064 est estimé à 124 millions de dollars d'aujourd'hui. Lorsqu'on tient compte des pertes commerciales potentielles, le coût augmente à 435 millions de dollars.

L'option privilégiée est une approche d'adaptation selon laquelle des digues artificielles sont conçues pour protéger contre les inondations associées à un événement de 1 chaque 100 ans en 2070 (option 3). Les digues seraient raccourcies (par rapport à leur longueur actuelle) et protégeraient toutes les infrastructures (routes, voies ferrées et infrastructure électrique). Le coût de l'option privilégiée est estimé à environ 93 millions de dollars et sa valeur actualisée nette – soit la différence entre les avantages de l'adaptation et les coûts liés aux impacts des changements climatiques (réduits pour l'évaluation en dollars d'aujourd'hui à 4 %) – est estimée à 31 millions de dollars. Lorsque les pertes commerciales dues aux impacts des changements climatiques sont comptabilisées de façon globale, la valeur actualisée nette de l'option privilégiée s'élève à 278 millions de dollars.

Dans ce cas, le coût associé à la prise d'aucune mesure d'adaptation dépasse le coût associé au renouvellement de l'infrastructure.

Les leçons tirées du projet portent sur les défis de l'intégration des intérêts divergents des intervenants – toutefois, les praticiens estiment que le projet a favorisé l'échange d'informations autour d'une menace commune. Étant donné qu'historiquement, les ministères agricoles et des transports travaillent séparément en règle générale, le processus est plus susceptible de fournir une approche coordonnée pour la gestion future de l'isthme. L'étude met en évidence la valeur des digues et a incité tous les intervenants à réfléchir de manière collaborative et critique sur la façon dont les actifs sont protégés dans la région de Chignecto.

Rédigé avec la collaboration de Jeff Hoyt (Gouvernement du Nouveau-Brunswick) et Sabine Dietz (Aster Group Environmental Services).

9.0 LACUNES ET CONCLUSIONS

Plusieurs lacunes et obstacles liés à l'adaptation aux changements climatiques dans le secteur des transports au Canada atlantique ressortent clairement. Tout d'abord, on note l'absence d'évaluations de la vulnérabilité et de données détaillées propres au transport dans la région de l'Atlantique. Bien que les protocoles d'évaluation des risques aient été appliqués pour évaluer les vulnérabilités climatiques dans certains cas, on ne sait pas précisément quelles routes, voies ferrées, aéroports et ports sont les plus et les moins vulnérables. En outre, pour certaines tendances météorologiques importantes, comme le brouillard et le vent, il existe peu de données et d'ouvrages pertinents et publiés sur le climat desquels on peut tirer des conclusions. Le vent et le brouillard ont des répercussions majeures sur la navigation maritime et aérienne dans la région de l'Atlantique, donc d'autres recherches pourraient mieux orienter la planification et les opérations.

La recherche effectuée pour le présent chapitre suggère également que les risques pour les actifs et les opérations posés par les phénomènes météorologiques extrêmes sont plus apparents pour les gestionnaires d'infrastructures publiques et privées que ceux liés aux changements dans les paramètres climatiques à long terme (c.àd. la hausse du niveau de la mer et des températures ambiantes). Une plus grande attention est accordée par les municipalités, les praticiens et les exploitants d'infrastructures (par exemple le port d'Halifax, le port de Saint John) à la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes qu'aux autres impacts à long terme. Ce n'est pas surprenant compte tenu des ressources publiques limitées et des coûts élevés encourus à la suite d'inondations et d'autres événements catastrophiques.

Probablement pour la même raison, les praticiens et les chercheurs réalisant les évaluations des risques et la planification relative à l'adaptation au Canada atlantique reconnaissent les défis liés à la mobilisation des intervenants. La pertinence des changements climatiques pour les propriétaires d'entreprises peut être difficile à expliquer – la hausse du niveau de la mer est un processus à long terme qui ne s'harmonise pas parfaitement bien aux cycles économiques conventionnels.

Malgré certaines de ces difficultés, le présent chapitre a recensé un certain nombre d'efforts d'adaptation tangibles dans l'industrie du transport, un seul parmi de nombreux secteurs au Canada atlantique qui examine comment s'adapter aux risques climatiques émergents (Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 2016). L'adaptation aux changements climatiques est une préoccupation croissante dans le secteur du transport, et les intervenants investissent et planifient de plus en plus en raison des changements climatiques. Les praticiens sont conscients que la demande relative aux services de transport est appelée à changer en réponse aux perturbations de service et aux dommages physiques causés par les changements climatiques, et les mesures prises afin d'améliorer l'accès économique aux marchés nouveaux ou élargis vont modifier l'offre et la demande de marchandises dans la région. La mise en place d'une infrastructure de transport efficace et résistante au moyen de la collaboration et de l'adaptation jouera un rôle important pour réduire les impacts et optimiser les avantages liés aux changements climatiques.

10.0 ANNEXE

Les tableaux A1 à A4 : Projections des températures et des précipitations par provinces de la région de l'Atlantique jusqu'en 2100 selon trois horizons temporels (2016-2035, 2046-2065 et 2081-2100). Les périodes saisonnières comprennent l'hiver (de décembre à février), le printemps (de mars à mai), l'été (de juin à août) et l'automne (de septembre à novembre). Les données sont tirées des résultats du modèle climatique mondial recueillis dans le contexte du CMIP 5 selon un ensemble de scénarios de profil représentatif 2.6, 4.5 et 8.5 (Données et scénarios climatiques canadiens, 2015). Les données reflètent l'incertitude associée à ces projections en présentant une plage de valeurs pour les 25^e et 75^e centiles des résultats du CMIP5. La valeur médiane (50^e centile) est présentée entre parenthèses à la suite de la plage de valeurs.

Tableau A1 : Projections des températures et des précipitations pour le Nouveau-Brunswick.

Scénario climatique (profil représentatif de l'évolution de concentration)	Variable climatique	Saison	Changement projeté par rapport à la période de référence 1986-2005 (25 ^e - 75 ^e centiles; 50 ^e centiles entre parenthèses)		
			Début du siècle	Milieu du siècle	Fin du siècle
			2016-2035	2046-2065	2081-2100
PREC 2.6 (scénario de faible croissance des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	+1,1-10,1 (+4,8)	+1,0-12,4 (+6,7)	+0,9-9,9 (+3,5)
		Printemps	+1,4-8,5 (+5,4)	+2,1-10,2 (+5,9)	+2,2-10,5 (+7,3)
		Été	-3,4-+5,8 (+2,8)	-2,7-8,6 (+1,1)	-0,6-10,1 (+3,9)
		Automne	-1,9-+4,6 (+1,9)	-2,7-+4,2 (+0,6)	-2,8-+6,1 (+2,7)
	Températures (°C)	Hiver	+0,8-1,4 (+1,1)	+1,3-2,3 (+1,7)	+1,4-2,7 (+2,1)
		Printemps	+0,6-1,2 (+0,9)	+0,8-2,0 (+1,6)	+0,7-2,0 (+1,2)
		Été	+0,8-1,4 (+1,0)	+1,0-2,1 (+1,5)	+0,8-1,8 (+1,4)
		Automne	+0,9-1,4 (+1,0)	+1,2-2,3 (+1,6)	+1,0-2,0 (+1,5)
PREC 4.5 (scénario de croissance moyenne des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	-0,7- +10,1 (+5,2)	+3,6-15,2 (+8,9)	+7,0-19,1 (+11,9)
		Printemps	-0,6-+8,8 (+4,1)	+3,9-13,2 (+10,1)	+6,1-19,1 (+12,5)
		Été	-2,2-+8,2 (+3,0)	+0,2-9,1 (+3,9)	-0,7-+11,3 (+4,5)
		Automne	-2,5-+5,9 (+1,1)	-0,8-+9,5 (+5,9)	-3,1-+6,7 (+1,4)
	Températures (°C)	Hiver	+0,7-1,8 (+1,3)	+2,0-3,3 (+2,7)	+2,9-4,3 (+3,5)
		Printemps	+0,6-1,5 (+1,0)	+1,4-2,5 (+1,8)	+1,8-3,2 (+2,7)
		Été	+0,7-1,4 (+1,1)	+1,5-2,6 (+2,1)	+2,0-3,5 (+2,5)
		Automne	+0,9-1,5 (+1,1)	+1,7-2,6 (+2,1)	+2,2-3,6 (+2,5)

Scénario climatique (profil représentatif de l'évolution de concentration)	Variable climatique	Saison	Changement projeté par rapport à la période de référence 1986-2005 (25 ^e – 75 ^e centiles; 50 ^e centiles entre parenthèses)		
			Début du siècle	Milieu du siècle	Fin du siècle
			2016-2035	2046-2065	2081-2100
PREC 8.5 (scénario de croissance élevée des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	-0,2-+11,3 (+5,8)	+6,0-17,3 (+11,4)	+13,1-28,6 (+19,0)
		Printemps	+0,1-7,3 (+3,4)	+6,1-15,1 (+10,6)	+12,0-23,0 (+16,6)
		Été	-2,3-+6,6 (+3,2)	-1,3-+9,9 (+4,2)	-1,1-+14,8 (+7,8)
		Automne	-4,2-+3,7 (-0,4)	-1,0-+10,4 (+3,5)	+1,2-10,3 (+4,3)
	Températures (°C)	Hiver	+1,0-1,9 (+1,4)	+3,0-4,4 (+3,6)	+5,6-7,3 (+6,4)
		Printemps	+0,8-1,5 (+1,0)	+2,2-3,5 (+2,7)	+4,2-6,0 (+4,6)
		Été	+1,0-1,6 (+1,2)	+2,4-3,7 (+3,0)	+4,4-6,3 (+5,4)
		Automne	+1,0-1,8 (+1,3)	+2,5-3,8 (+3,1)	+4,4-6,2 (+5,1)

Tableau A2 : Projections des températures et des précipitations pour Terre-Neuve-et-Labrador.

Scénario climatique (profil représentatif de l'évolution de concentration)	Variable climatique	Saison	Changement projeté par rapport à la période de référence 1986-2005 (25 ^e – 75 ^e centiles; 50 ^e centiles entre parenthèses)		
			Période rapprochée	Milieu du siècle	Fin du siècle
			2016-2035	2046-2065	2081-2100
PREC 2.6 (scénario de faible croissance des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	-2,4-+8,1 (+3,2)	-0,1-+11,8 (+5,8)	+1,0-12,9 (+6,3)
		Printemps	+1,2-10,2 (+5,3)	+1,7-13,3 (+8,1)	+2,7-13,3 (+7,9)
		Été	-0,2-+7,3 (+3,5)	+0,8-9,8 (+4,8)	+0,3-8,8 (+4,3)
		Automne	+0,7-8,1 (+4,3)	+1,1-9,0 (+5,3)	+1,9-9,8 (+6,0)
	Températures (°C)	Hiver	+0,8-1,8 (+1,3)	+1,4-3,0 (+2,2)	+1,3-3,3 (+2,3)
		Printemps	+0,4-1,2 (+0,8)	+0,7-1,9 (+1,2)	+0,5-1,9 (+1,1)
		Été	+0,5-1,2 (+0,8)	+0,7-1,8 (+1,2)	+0,6-1,7 (+1,2)
		Automne	+0,7-1,3 (+1,0)	+1,0-2,1 (+1,6)	+0,9-2,1 (+1,5)

Scénario climatique (profil représentatif de l'évolution de concentration)	Variable climatique	Saison	Changement projeté par rapport à la période de référence 1986-2005 (25 ^e – 75 ^e centiles; 50 ^e centiles entre parenthèses)		
			Période rapprochée	Milieu du siècle	Fin du siècle
			2016-2035	2046-2065	2081-2100
PREC 4.5 (Scénario de croissance moyenne des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	-0,3-+11,7 (+5,0)	+2,9-16,1 (+9,5)	+6,5-20,8 (+14,5)
		Printemps	+0,7-11,5 (+6,0)	+3,8-13,7 (+8,5)	+5,1-17,4 (+10,5)
		Été	-0,6-+7,8 (+3,3)	+0,7-10,7 (+5,1)	+2,2-10,5 (+5,9)
		Automne	-0,6-+7,2 (+3,2)	+3,3-10,2 (+7,2)	+2,7-10,7 (+7,1)
	Températures (°C)	Hiver	+0,8-2,0 (+1,3)	+2,2-3,7 (+2,9)	+2,9-4,9 (+4,1)
		Printemps	+0,4-1,2 (+0,8)	+1,1-2,3 (+1,6)	+1,6-2,8 (+2,1)
		Été	+0,5-1,3 (+0,8)	+1,2-2,3 (+1,7)	+1,5-3,0 (+2,2)
		Automne	+0,8-1,3 (+1,0)	+1,5-2,5 (+1,8)	+1,9-3,3 (+2,3)
PREC 8.5 (Scénario de croissance élevée des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	+0,6-10,6 (+4,8)	+6,5-20,7 (+12,0)	+14,2-34,8 (+23,0)
		Printemps	+0,8-9,0 (+5,4)	+5,6-15,8 (+10,2)	+12,0-28,5 (+18,9)
		Été	-1,7-+7,9 (+3,5)	+2,2-11,2 (+6,6)	+5,3-18,6 (+11,5)
		Automne	+0,2-7,2 (+3,8)	+4,0-11,5 (+7,8)	+7,2-18,9 (+12,2)
	Températures (°C)	Hiver	+1,0-2,2 (+1,5)	+3,4-5,2 (+4,3)	+6,5-9,0 (+7,7)
		Printemps	+0,5-1,4 (+1,0)	+2,0-3,1 (+2,4)	+3,8-6,0 (+4,7)
		Été	+0,8-1,3 (+1,0)	+1,9-3,2 (+2,5)	+3,9-5,9 (+4,6)
		Automne	+0,9-1,5 (+1,2)	+2,3-3,5 (+2,7)	+4,2-6,2 (+4,8)

Tableau A3 : Projections des températures et des précipitations pour la Nouvelle-Écosse.

Scénario climatique (profil représentatif de l'évolution de concentration)	Variable climatique	Saison	Changement projeté par rapport à la période de référence 1986-2005 (25 ^e – 75 ^e centiles; 50 ^e centiles entre parenthèses)		
			Période rapprochée	Milieu du siècle	Fin du siècle
			2016-2035	2046-2065	2081-2100
PREC 2.6 (scénario de faible croissance des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	-0,1-6,2 (+2,8)	-2,2-7,0 (+2,5)	+0,3-7,8 (+3,0)
		Printemps	+1,7-8,0 (+4,0)	+0,9-10,1 (+3,6)	+1,9-9,8 (+6,6)
		Été	-3,9-7,3 (+2,8)	-3,8-8,0 (+2,2)	-2,9-9,2 (+2,6)
		Automne	-1,8-4,2 (+1,5)	-2,7-5,0 (+1,7)	-2,1-6,5 (+2,2)
	Températures (°C)	Hiver	+0,7-1,3 (+1,0)	+1,1-2,1 (+1,5)	+1,0-2,5 (+1,9)
		Printemps	+0,6-1,2 (+0,9)	+0,8-1,9 (+1,4)	+0,7-1,9 (+1,3)
		Été	+0,7-1,2 (+0,9)	+1,0-1,8 (+1,5)	+0,9-1,8 (+1,3)
		Automne	+0,8-1,3 (+1,0)	+1,1-2,1 (+1,5)	+1,0-1,8 (+1,4)
PREC 4.5 (scénario de croissance moyenne des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	-1,8-6,1 (+2,8)	+2,9-9,3 (+5,4)	+4,1-14,4 (+8,7)
		Printemps	-0,8-7,6 (+3,5)	+2,8-13,7 (+8,1)	+4,0-16,5 (+8,6)
		Été	-2,2-7,6 (+3,0)	-3,6-9,2 (+4,4)	-1,3-9,8 (+6,4)
		Automne	-0,9-6,3 (+2,7)	-1,3-9,1 (+4,8)	-3,7-9,1 (+3,8)
	Températures (°C)	Hiver	+0,7-1,6 (+1,2)	+1,7-2,9 (+2,3)	+2,4-3,7 (+2,9)
		Printemps	+0,6-1,4 (+1,0)	+1,5-2,2 (+1,7)	+1,8-2,9 (+2,5)
		Été	+0,7-1,5 (+1,0)	+1,5-2,4 (+1,9)	+1,9-3,2 (+2,4)
		Automne	+0,8-1,4 (+1,1)	+1,6-2,5 (+1,9)	+2,1-3,5 (+2,4)

Scénario climatique (profil représentatif de l'évolution de concentration)	Variable climatique	Saison	Changement projeté par rapport à la période de référence 1986-2005 (25 ^e – 75 ^e centiles; 50 ^e centiles entre parenthèses)		
			Période rapprochée	Milieu du siècle	Fin du siècle
			2016-2035	2046-2065	2081-2100
			PREC 8.5 (scénario de croissance élevée des émissions)	Précipitations (%)	Hiver
Printemps	+0,5-8,6 (+4,4)	+3,8-13,8 (+7,6)			+7,3-18,1 (+12,8)
Été	-4,5-+5,8 (+1,7)	-2,2-+8,5 (+4,3)			-3,0-+15,3 (+6,8)
Automne	-4,6-+4,0 (-0,3)	-1,8-+8,8 (+4,0)			-0,6-8,6 (+3,7)
Températures (°C)	Hiver	+9-1,6 (+1,3)		+2,5-3,6 (+3,0)	+4,7-6,2 (+5,4)
	Printemps	+0,7-1,4 (+1,0)		+2,1-3,2 (+2,5)	+3,9-5,5 (+4,4)
	Été	+0,9-1,5 (+1,1)		+2,2-3,4 (+2,7)	+4,1-6,6 (+4,9)
	Automne	+0,9-1,6 (+1,2)		+2,3-3,6 (+3,0)	+4,2-6,0 (+4,8)

Tableau A4 : Projections des températures et des précipitations pour l'Île-du-Prince-Édouard.

Scénario climatique (profil représentatif de l'évolution de concentration)	Variable climatique	Saison	Changement projeté par rapport à la période de référence 1986-2005 (25 ^e – 75 ^e centiles; 50 ^e centiles entre parenthèses)		
			Période rapprochée	Milieu du siècle	Fin du siècle
			2016-2035	2046-2065	2081-2100
			PREC 2.6 (Scénario de faible croissance des émissions)	Précipitations (%)	Hiver
Printemps	+1,3-7,8 (+5,6)	+1,1-9,8 (+6,2)			+4,1-9,8 (+7,7)
Été	-3,7-+8,1 (+0,6)	-4,3-+7,7 (+1,9)			-1,4-+6,6 (+2,7)
Automne	-3,3-+4,0 (+1,6)	-5,2-+5,5 (+0,9)			-3,3-+5,5 (+2,8)
Températures (°C)	Hiver	+0,8-1,6 (+1,1)		+1,3-2,5 (+1,7)	+1,3-2,9 (+2,1)
	Printemps	+0,7-1,2 (+0,9)		+0,9-2,1 (+1,5)	+0,9-2,3 (+1,3)
	Été	+0,7-1,3 (+0,9)		+1,0-2,1 (+1,6)	+0,8-1,9 (+1,4)
	Automne	+0,8-1,3 (+1,0)		+1,1-2,2 (+1,5)	+1,0-1,9 (+1,4)

Scénario climatique (profil représentatif de l'évolution de concentration)	Variable climatique	Saison	Changement projeté par rapport à la période de référence 1986-2005 (25 ^e - 75 ^e centiles; 50 ^e centiles entre parenthèses)		
			Période rapprochée	Milieu du siècle	Fin du siècle
			2016-2035	2046-2065	2081-2100
PREC 4.5 (Scénario de croissance moyenne des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	-1,2-+8,1 (+5,3)	+2,5-11,3 (+7,5)	+5,1-15,1 (+10,8)
		Printemps	-2,0-+7,9 (+3,1)	+3,3-14,3 (+8,5)	+6,6-20,4 (+8,8)
		Été	-3,1-+9,4 (+3,1)	-1,4-+12,2 (+3,9)	-2,1-+9,8 (+6,1)
		Automne	-0,3-+5,5 (+1,6)	-0,3-+8,1 (+5,0)	-4,7-+9,5 (+1,9)
	Températures (°C)	Hiver	+0,8-1,8 (+1,3)	+1,8-3,2 (+2,7)	+2,7-4,1 (+3,4)
		Printemps	+0,8-1,4 (+1,1)	+1,6-2,6 (+1,7)	+1,9-3,1 (+2,5)
		Été	+0,7-1,4 (+1,1)	+1,6-2,5 (+2,0)	+2,0-3,3 (+2,5)
		Automne	+0,8-1,5 (+1,0)	+1,6-2,6 (+2,1)	+2,0-3,4 (+2,5)
PREC 8.5 (Scénario de croissance élevée des émissions)	Précipitations (%)	Hiver	+1,4-9,3 (+5,3)	+3,4-13,8 (+10,7)	+8,3-22,1 (+17,1)
		Printemps	+0,7-8,7 (+5,2)	+4,0-13,1 (+9,0)	+8,6-22,5 (+14,9)
		Été	-6,0-+5,9 (+2,5)	-2,4-+9,4 (+5,4)	-1,8-+15,6 (+6,3)
		Automne	-4,2-+3,6 (-0,6)	-3,0-+8,5 (+3,8)	+0,4-+8,6 (+3,7)
	Températures (°C)	Hiver	+1,0-1,8 (+1,4)	+2,7-4,1 (+3,4)	+5,3-6,7 (+6,0)
		Printemps	+0,8-1,6 (+1,1)	+2,1-3,3 (+2,6)	+4,3-6,0 (+4,7)
		Été	+1,0-1,6 (+1,2)	+2,4-3,4 (+2,8)	+4,2-6,0 (+5,3)
		Automne	+0,9-1,6 (+1,2)	+2,3-3,7 (+2,9)	+4,2-6,0 (+4,8)

RÉFÉRENCES

- Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. (2015, 27 mars). *Le gouvernement Harper investit dans une approche proactive pour éviter des inondations printanières potentielles dans les Premières Nations du Nouveau Brunswick* [Communiqué de presse]. Repéré à http://nouvelles.gc.ca/web/article-fr.do?nid=956479&_ga=1.132827787.442564653.1446732274
- Agence de promotion économique du Canada atlantique. (2012). *L'économie du Canada atlantique*. Repéré à <http://www.acoa-apeca.gc.ca/fra/publications/Rapportsparlementaires/Pages/LeconomieduCanadaatlantique.aspx?ProgramID=>
- AMEC Inc. (2011). *Climate change adaptation measures for Greater Moncton Area, New Brunswick*. Repéré à http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.ypei.ca.acasa/files/Adaptation_Measures_Greater_Moncton-2011.pdf
- Andrey, J., Hambly, D., Chaumont, D., et Rapaic, M. (2013). *Climate change and road safety : Projections within urban areas*. Ottawa, ON : Association des transports du Canada.
- Andrey, J., et Mills, B. (2003). *Climate change and the Canadian transportation system : Vulnerabilities and adaptations*. Dans J. Andrey and C. Knapper (Éds.), *Weather and transportation in Canada* (pp. 235-279). Publication series number 55, Department of Geography, University of Waterloo.
- Ariz, H. (s.d.) *Effects of climate change on stormwater management (SWM)* [Présentation]. Repéré à <http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Climate-Climatiques/Presentations/StormwaterManagement.pdf>
- Association des aéroports du Canada Atlantique. (2012). *The economic impact of air passenger and cargo traffic through Atlantic Canada's airports is over \$2.6 billion*. Repéré à <http://www.a Cairports.ca/index.php?id=2>
- Association des chemins de fer du Canada. (2015). *Tendances ferroviaires 2015*. Repéré à <http://www.railcan.ca/fr/publications/trends>
- Atkinson, D.E., Forbes, D.L., et James, T.S. (2016). *Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation*. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (Éds.), *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat* (pp. 27-68). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada.
- Batterson, M., Liverman, D., Ryan, J., et Taylor, D. (1999). *The assessment of geological hazards and disasters in Newfoundland : An update*. St. John's, NL : Government of Newfoundland and Labrador, Department of Natural Resources, Geological Survey Report 95-1.
- Bowyer, P. (2003a). *L'aspect scientifique de l'ouragan Juan - Classification de l'ouragan Juan*. Gouvernement du Canada. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=258CBC16-1>
- Bowyer, P. (2003b). *La crue des eaux et les vagues causées par l'ouragan Juan à Halifax*. Gouvernement du Canada. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=BAAEAC12-1>
- Boyle, J., Cunningham, M., and Dekens, J. (2013). *Climate change adaptation and Canadian Infrastructure : A review of the literature*. Winnipeg, MB : International Institute for Sustainable Development. Repéré à http://www.iisd.org/pdf/2013/adaptation_can_infrastructure.pdf
- Bradshaw, R. (2015, 6 mars). *Potholes open up in Halifax roads as rough Atlantic winter continues*. *Global News*. Repéré à <http://globalnews.ca/news/1866676/potholes-open-up-in-halifax-roads-as-rough-atlantic-winter-continues/>
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2003). *Rapport d'enquête ferroviaire R02M0050: Déraillement en voie principale du train de marchandises Q13711-13 exploité par le Canadien National au point milliaire 38,85 de la subdivision Bedford à Milford (Nouvelle-Écosse)*. 13 août 2002. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/2002/r02m0050/r02m0050.asp>
- 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 F.J. Warren et D.S. Lemmen. (Éds.), *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation* (pp. 23-64). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada.
- Cape Breton Post. (2015, 3 mars). *Weather delays Marine Atlantic crossings between N.S. and N.L.* Repéré à <http://www.capebretonpost.com/News/Local/2015-03-03/article-4063644/Weather-delays-Marine-Atlantic-crossings-between-N.S.-and-N.L./1>
- Catto, N., Foote, D., Locke, W., DeYoung, B., Edinger, E., Ingram, D., Karn, J., et Stratman, J. (2006). *CCLAP Project A-804 : Impacts of storms and winds on transportation in Southwestern Newfoundland*. Repéré à https://www.mun.ca/geog/research/CCLAP_Project_A_804.pdf
- CBC News. (2012, 8 février). *Kennebecasis River ice road re-opened*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/new-brunswick/kennebecasis-river-ice-road-re-opened-1.1186105>
- CBC News. (2014a, 7 octobre). *Cape Breton Central Nova Scotia Railway asks to abandon line*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/cape-breton-central-nova-scotia-railway-asks-to-abandon-line-1.2791539>.
- CBC News. (2014b, 6 novembre). *Engineer missing after Quebec freight train derailed in landslide*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/montreal/engineer-missing-after-quebec-freight-train-derails-in-landslide-1.2825969>
- CBC News. (2014c, 10 décembre). *Nova Scotia facing travel delays as nor'easter pounds province*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/nova-scotia-facing-travel-delays-as-nor-easter-pounds-province-1.2867701>
- CBC News. (2015a, 27 janvier). *Maritimes storm : Roads closed, flights cancelled as blizzard hits*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/maritimes-storm-roads-closed-flights-cancelled-as-blizzard-hits-1.2932937>

- CBC News. (2015b, 10 mars). *Ice-jammed ferry in strait off Newfoundland wears down passenger patience*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/newfoundland-labrador/ice-jammed-ferry-in-strait-off-newfoundland-wears-down-passenger-patience-1.2988563>
- CBCL, Ltd. (2012). *Impacts of climate change on stormwater management : Stormwater management plan update (Town of Stratford)*. Repéré à http://www.townofstratford.ca/wp-content/uploads/2013/09/SWM_Climate_Change_Adaption-2012.pdf
- Cheng, C., Li, G., et Auld, H. (2011). Possible impacts of climate change on freezing rain using downscaled future climate scenarios : Updated for Eastern Canada. *Atmosphere-Ocean*, 49(1), 8-21.
- Chu, J. (2012, 13 février). 'Storm of the century?' Try 'storm of the decade.' MIT News Office. Repéré à <http://newsoffice.mit.edu/2012/storm-of-the-decade-0213>
- Cirtwill, C., Crowley, B., et Frost, J. (2001). Port-ability: A private sector strategy for the Port of Halifax. *Atlantic Institute for Market Studies*. Repéré à <http://www.aims.ca/site/media/aims/port.pdf>
- Cruise Lines International Association. (2013). *Cruise ships drive expanding tourism and \$2.38 billion in economic impacts across Canada*. Repéré à <http://www.clia-nwc.com/cruise-fast-facts/>
- Curtis, F., et Ehrenfeld, D. (2012). The new geography of trade: Globalization's decline may stimulate local recovery. *Solutions*, 3(1), 35-40.
- Cuthbertson, R. (2015, 5 mars). CN Rail backlog not just weather related, says union. CBC News. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/cn-rail-autoport-backlog-not-just-weather-related-says-union-1.2982835>
- Daigle, R. (2011). *Coastal flooding issues*. Atlantic Climate Adaptation Solutions Association. Repéré à <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca.acasa/files/Coastal%20Flood%20Issues.pdf>
- Davidson-Arnott, R., et Ollerhead, J. (2011). *Coastal erosion and climate change*. Atlantic Climate Solutions Association. Repéré à http://www.csrpa.ca/sites/default/files/fichiers/coastal_erosion_and_climate_change_0.pdf
- Davies, M., MacDonald, N., et Boyd, G. (2010). Development of a life-cycle costing approach for roads exposed to storms and sea level rise. In proceedings of *Responding to Climate Change: Best Practices session*, 2010 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Halifax, NS, 26-29 septembre.
- Dobney, K., Baker, C., Quinn, A., et Chapman, L. (2008). *Quantifying the effects of high summer temperatures due to climate change on buckling and rail related delays in the UK*. International Union of Railways. Repéré à http://www.uic.org/cdrom/2008/11_wcr2008/pdf/l.3.1.1.1.pdf
- Données et scénarios climatiques canadiens. (2015). *Parcelles de projections climatiques au Canada à partir de données CMIP5*. Repéré à <http://ccds-dscc.ec.gc.ca/index.php?page=download-cmip5&lang=fr>
- Dupont, F., Hannah, C., et Greenberg, D. (2005). Modeling the sea level of the Upper Bay of Fundy. *Atmosphere-Ocean*, 43(1), 33-47.
- Environnement Canada. (2010). *Les inondations au Canada - Les provinces de l'Atlantique*. Repéré à <https://ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=4FCB81DD-1>
- Environnement Canada. (2013a). *Les causes des inondations - les embâcles*. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=E7EF8E56-1#section3>
- Environnement Canada. (2013b). *Les phénomènes météorologiques les plus importants du 20e siècle*. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=6a4a3ac5-1>
- Environnement Canada. (2013c). *Les dix événements météorologiques les plus marquants au Canada en 2010. Tempête historique : neige, vents violents et inondations*. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=7ABD10BF-1>
- Environnement Canada. (2015a). *Bulletin des tendances et des variations climatiques - Résumé de l'année 2014*. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/sc-cs/default.asp?lang=Fr&n=60AC2030-1>
- Environnement Canada. (2015b). *Le Service canadien des glaces. Climatologie des glaces : Résumé saisonnier pour l'Est du Canada - Hiver 2014-2015*. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/glaces-ice/default.asp?lang=Fr&n=E4444163-1>
- Environnement Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada. (1999). *Cadre écologique national pour le Canada*. Repéré à <http://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/ecostrat/index.html>
- Evan, S., Cruden, D., Bobrowsky, P., Guthrie, R., Keegan, T., Liverman, D., et Perret, D. (2005). *Landslide risk in Canada : A review of recent developments*. Dans O. Hungr, R. Fell, R. Couture, and E. Eberhardt (Éds.), *Landslide Risk Management* (pp. 351-363). London, UK: Taylor & Francis Group.
- Fenech, A. (2014). *Assessment of the risk to Prince Edward Island's Coastal residences, infrastructure and heritage from a changing climate*. Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique.
- Finck, P. (2013). *Coastal process, geohazard, erosion and infrastructure sustainability studies at Cabots Landing Provincial Park, Port Shoreham Beach Provincial Park, and the proposed replacement for Plaster Provincial Park, Nova Scotia. Report of activities*. Mineral Resources Branch. Repéré à http://novascotia.ca/natr/meb/data/pubs/14re01/14re01_Finck.pdf
- Fleming, M. (2014). "Roads less travelled": dependency and resilience in locally-owned trucking companies on the Great Northern Peninsula of Newfoundland and Labrador and the Acadian Peninsula of New Brunswick. Doctoral (PhD) thesis, Memorial University of Newfoundland.
- Forbes, D., Manson, G., Charles, J., Thompson, K., et Taylor, R. (2009). *Halifax Harbour extreme water levels in the context of climate change : Scenarios for a 100-year planning horizon*. Geological Survey of Canada, Open File 6346, iv+22 p.

- Forum canadien du climat. (2014). Forecasting a sea of change : Lessons from Atlantic Canada. *Issue Paper, Vol. 2*(1). Repéré à http://www.climateforum.ca/wp-content/uploads/2014/10/CCF-Issues-SeaOfChange_web.pdf
- Füssel, H. (2007). Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustain Sci* (2007) 2: 265.
- Gao, Y., Leung, R., Lu, J., et Masoto, G. (2015). Persistent cold air outbreaks over North America in a warming climate. *Environmental Research Letters*, 10, 1-12.
- Gauthier, A. (2014). *New Brunswick's merchandise trade with the world*. Library of Parliament Trade and Investment. Repéré à <http://www.parl.gc.ca/Content/LOP/ResearchPublications/2014-35-e.pdf>
- Genesee et Wyoming Inc. (s.d.). *Cape Breton and Nova Scotia Railway (CBNS) overview*. Repéré à http://www.gwrr.com/operations/railroads/north_america/cape_breton_central_nova_scotia_railway
- Gouvernement du Canada. (2014). *Une nouvelle technologie pour la prévision des conditions météorologiques et du régime des vagues contribuera à la sécurité des gens de mer*. Repéré à http://nouvelles.gc.ca/web/article-fr.do?nid=876159&campaign=Facebook-ENG&_ga=1.191547183.442564653.1446732274
- Gouvernement du Nouveau-Brunswick. (2012). *Détails sur l'inondation - 1970-02-02 - 1970-02-06*. Repéré à <http://www.elgegl.gnb.ca/0001/fr/inondation/D%C3%A9tails/251>
- Gouvernement du Nouveau-Brunswick. (2014). *Plan d'action du Nouveau-Brunswick sur les changements climatiques 2014-2020*. Repéré à <http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Climate-Climatiques/PlanActionChangementsClimatiques2014-2020.pdf>
- Government of Prince Edward Island. (2015, 16 juin). *Update on Souris bridge construction* [Communiqué de presse]. Repéré à <http://www.gov.pe.ca/index.php3/publications/mvr/pt/taxandland/premier/mvr/newsroom/index.php3?number=news-&newsnumber=10236&dept=&lang=E>
- Graham, J., et Musselman, R. (s.d.). Coastal climate change adaptation : An opportunity for Nova Scotia's towns & municipalities. Repéré à https://www.ecologyaction.ca/files/images-documents/file/Coastal/info_sheets_summaires.pdf.
- Gregg, R. M. (2010). *Sea level rise and the construction of the Confederation Bridge in the Gulf of Saint Lawrence* [Case study on a project of Strait Crossing Bridge Limited]. Product of EcoAdapt's State of Adaptation Program.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2013). Summary for policymakers. Dans 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 (Éds.), *Climate change 2013 : The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK et New York, USA : Cambridge University Press.
- Halifax Regional Municipality. (2012). *Award – Unit price tender no. 12-211, Installation of armour stone breakwater (Phase I) – Cow Bay Road – East Region*. Repéré à <http://www.halifax.ca/council/agendasc/documents/12113ca1011.pdf>
- Hatvany, M. (2002). The origins of the Acadian aboiteau: An environmental historical geography. *Historical Geography*, 30, 121-137.
- Henderson, J. (2015, 27 mars). CN Autoport still facing delays. CBC News. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/cn-autoport-still-facing-delays-1.3012414>
- Heritage Newfoundland and Labrador. (s.d.). *Flooding and landslides*. Repéré à <http://www.heritage.nf.ca/environment/tablemap4.html>
- Ingénieurs Canada. (2014). *PIEVC Case study : Town of Placentia, Newfoundland, water resources infrastructure*.
- James, T., Henton, J., Leonard, L., Darlington, A., Forbes, D., et Craymer, M. (2014). *Relative sea-level projections in Canada and the adjacent mainland United States*. Commission géologique du Canada. Ressources naturelles Canada. Dossier public 7737. Repéré à http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/295/295574/of_7737.pdf
- Kessler, E. (2011). Stormwater strategies : Cities prepare aging infrastructure for climate change. *Environmental Health Perspectives*, 119(2), 514-519.
- Lambert-Racine, M. (2013). *Le commerce international de marchandises de Terre-Neuve-et-Labrador*. La Bibliothèque du Parlement. Série commerce et investissement. Repéré à <http://www.loppar.gc.ca/content/lop/ResearchPublications/2013-40-f.pdf>
- Leys, V. (2009). Sea-level rise and storm events. Dans *The State of Nova Scotia's Coast : Technical Report* (chapitre 7). CBCL Ltd. et Province of Nova Scotia. Repéré à <http://www.novascotia.ca/coast/documents/report/Coastal-Tech-Report-Nov-09.pdf>
- Lieske, D. et Bornemann, J. (2012). *Coastal dykelands in the Tantramar area : Impacts of climate change on dyke erosion and flood risk*. Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. Repéré à <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.uepei.ca.acasa/files/Tantramar-CoastalDykelands-ImpactsOfClimateChange-MtA-2011.pdf>
- Lim, N.H.Y., Park, N.-H., and Kang, Y.J. (2003). Stability of continuous welded rail. *Computers and Structures*, 81, 2219-2236.
- Liverman, D., Forbes, D., et Boger, R. (1994). Coastal monitoring on the Avalon Peninsula. *Newfoundland Department of Mines and Energy, Geological Survey Branch, Report 94-1*, 17-27. Repéré à <http://www.nr.gov.nl.ca/mines&en/geosurvey/publications/cr1994/Liverman.pdf>
- Loder, J., Han, G., Galbraith, P., J. Chassé, J., et van der Baaren, A. (Éds). (2013). Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*. 3045: x+ 190p.

- Marine Atlantique. (2015). *Véhicules commerciaux*. Repéré à <http://www.marineatlantic.ca/fr/commercial/V%C3%A9hicules-commerciaux/>
- Marlin, A. (2013). Climate change adaptation : A toolkit. EOS EcoEnergy. Repéré à http://eoscoenergy.com/en/wp-content/uploads/2013/04/EOS_ToolKit_en_dr7.pdf
- Marsalek, J., et Schreier, H. (2010). Innovation in stormwater management in Canada : The way forward. *Water Quality Research Journal of Canada*, 47(1), v-x. Repéré à http://www.mcgill.ca/files/water2010/Article-Marsalek_and_Schreier.pdf
- McCarthy, E. (2014, April 16). Highway dept dealing with numerous washouts. *The Journal Pioneer* (Summerside, PEI). Repéré à <http://www.journalpioneer.com/News/Local/2014-04-16/article-3692252/Highways-dept-dealing-with-numerous-washouts/>
- Mekis, E., et Vincent, L. (2011). An overview of the second generation adjusted daily precipitation dataset for trend analysis in Canada. *Atmosphere-Ocean*, 2, 163-177.
- Ministère des Pêches et des Océans Canada. (2013). Risk-based assessment of climate change impacts and risks on the biological systems and infrastructure within Fisheries and Oceans Canada's mandate – Atlantic Large Aquatic Basin. *DFO Can. Sci. Adv. Sec. Sci. Resp.* 2012/044. Repéré à http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScRS/RS/2012/2012_044-eng.pdf
- Ministère des Transports et de l'Infrastructure du Nouveau-Brunswick. (2014). *Rapport annuel, 2013-2014*. Repéré à <http://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/ministeres/mti/publications.html>
- Ministère des Transports et de l'Infrastructure du Nouveau-Brunswick. (2015). *Un outil en ligne pour la prévision des conditions météorologiques et des vagues est lancé à Port Saint John*. Repéré à <http://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/nouvelles/communiqu2015.06.0586.html>
- Municipality of the District of Shelburne. (2011.) *Sandy Point sewage treatment plant upgrade : PIEVC climate change vulnerability assessment* [Présentation]. Repéré à http://www.pievc.ca/e/casedocs/shelburne/Shelburne_Project-Short_Presentation.pdf
- Nalcor Energy. (2014). *LCP ice formation environmental effects monitoring plan* (Nalcor Doc. No. MFA-PT-MD-0000-EV-PL-0003-1). Repéré à http://www.env.gov.nl.ca/env/env_assessment/projects/Y2010/1305/1305_ice_formation_eemp2014.pdf
- Newfoundland and Labrador Department of Transportation and Works. (2014). *Annual report 2013-2014*. Repéré à http://www.tw.gov.nl.ca/publications/TWAnnual_Report2013-14.pdf
- Newfoundland and Labrador Statistics Agency, Economics and Statistics Branch. (2015). *Canadian total exports, total for all products, top 10 countries, origin: Newfoundland and Labrador*. Repéré à http://www.stats.gov.nl.ca/statistics/Trade/PDF/NL_Exports.pdf
- Office of Climate Change, Energy Efficiency, and Emissions Trading. (2013). *Climate change projections for Newfoundland and Labrador : Late 20th century to mid-21st century*. Province of Newfoundland and Labrador. Repéré à <http://www.exec.gov.nl.ca/exec/ccee/publications/NL%20Climate%20Change%20Projections%20-%20Summary%20Presentation.pdf>
- Office of the Vice-President, Research. (2015). *CLIVE wins MIT competition*. Simon Fraser University. Repéré à <http://www.sfu.ca/vpresearch/research-news/2014/clive-wins-mit-competition.html>
- Peterson, T., McGuirk, M., Houston, T., Horvitz, A., et Wehner, M. (2008). Climate variability and change with implications for transportation. *Transportation Research Board Special Report 290*. Washington, DC : National Research Council of the National Academies. Repéré à <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Many.pdf>
- Port of Halifax. (2015). *Economic impact report*. Repéré à <http://portofhalifax.ca/about-us/economic-report/>
- Porte Canadienne de l'Atlantique. (2010). *La Stratégie sur la Porte et le Corridor de commerce de l'Atlantique*. Repéré à <http://www.portedelatlantique.gc.ca/strategie-index.html>
- Power, B. (2012, 13 février). \$35m port terminal project nearing completion. *The Halifax Chronicle Herald*. Repéré à <http://thechronicleherald.ca/business/62440-35m-port-terminal-project-nearing-completion>
- Prince Edward Island Department of Transportation and Infrastructure Renewal. (2012). *Transportation and infrastructure renewal strategic plan, 2012-2015*. Repéré à <http://www.gov.pe.ca/photos/original/TIRstrategicpla.pdf>
- Province of Nova Scotia. (2007a). *Incident cost estimate worksheet: Incident CBNSIW070595*.
- Province of Nova Scotia. (2007b). *Incident cost estimate worksheet: Incident CBNSIW070581*.
- Province of Nova Scotia (2009a). *The state of Nova Scotia's coast: Chapter 5 – Working water fronts*. Repéré à <https://www.novascotia.ca/coast/documents/report/Coastal-Tech-Report-Chapter5.pdf>
- Province of Nova Scotia (2009b). *The state of Nova Scotia's coast: Chapter 7 – Sea-level rise and storm events*. Repéré à <https://www.novascotia.ca/coast/documents/report/Coastal-Tech-Report-Chapter7.pdf>
- Province of Nova Scotia. (2014, 11 juillet). *Train derailment cause determined* [Communiqué de presse]. Repéré à <http://novascotia.ca/news/release/?id=20140711004>
- Savard, J.-P., van Proosdij, D. et O'Carroll, S. (2016). Perspectives relatives à la région de la côte Est du Canada. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (Éds.), *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat* (pp. 99-152). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada.
- Senneville, S., St-Onge, S., Dumont, D., Bihan-Poudec, M.-C., Belemale, Z., Coriveau, M., Bernatchez, P., Bélanger, S., Tolszczuk-Leclerc, S. et Villeneuve, R. (2013). Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du saint-laurent dans la perspective des changements climatiques. Rapport final remis au ministère des Transport du Québec. Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski, janvier 2013, 370 p.
- Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. (2011). *Historical list of climate change storm events in PEI*. Repéré à http://atlanticadaptation.ca/sites/discoverspace.upei.ca/acasa/files/Historical%20List%20of%20Climate%20Change%20Storm%20Events%20PEI%20-%20Sep%202011_0.xls

- Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. (2016). *Climate change reports*. Repéré à <http://atlanticadaptation.ca/reports>
- Spooner, I., Batterson, M., Catto, N., Liverman, D., Broster, B., Kearns, K., Iseñor, F., et McAskill, G. (2013). Slope failure hazards in Canada's Atlantic Provinces : A review. *Atlantic Geology*, 49, 1-14.
- Stassinu-Stantec Limited Partnership. (2011). *Analysis of infrastructure constraints on the future development of iron resources in Labrador, Canada*. Repéré à http://www.nr.gov.nl.ca/nr/mineralstrategy/infrastructure_report_summary.pdf
- Statistique Canada. (2011). *Recensement de la population*. Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l02/cst01/demo62a-fra.htm>
- Steeves, D. (2013). Extreme heat and health in Nova Scotia: Temperature and humidity normals and trends. *Environment Canada Extreme Heat Webinar*. 4 juin, Dartmouth, Nova Scotia. Repéré à http://www.chnet-works.ca/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=623%3A337-june-4-2013-part-2-of-5-extreme-heat-and-health-in-nova-scotia--doug-steeves&id=22%3Afireside-chat-presentations-and-recordings-2013&Itemid=13&lang=en.
- Strait Crossing Bridge Ltd. (2015). *Confederation Bridge*. Repéré à <http://www.confederationbridge.com/about/confederation-bridge.html>
- Swansburg, E., El-Jabi, N. et Caissie, D. (2004). Climate change in New Brunswick (Canada) : Statistical downscaling of local temperature, precipitation, and river discharge. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2544: 42p. Repéré à <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/283189.pdf>
- Taylor, K., Stouffer, R., et Meehl, G. (2012). A summary of the CMIP5 experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485-498.
- Transportation Research Board. (2008). *Climate change impacts on US transportation infrastructure. Transportation Research Board Special Report 290*. Washington, DC : National Research Council of the National Academies.
- Transports Canada (2010). *Politique nationale des aéroports*. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/programmes/aerports-politique-rna-1129.htm>
- Transports Canada. (2014). *Les transports au Canada 2013 : un survol et addenda*. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/politique/anre-menu.htm>
- Traversier CTMA. (2015). *Horaire*. Repéré à <http://www.traversierctma.ca/fr/horaire>
- United Kingdom Department for Transport. (2014). *Transport resilience review : A review of the resilience of the transport network to extreme weather events*. Repéré à https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/335115/transport-resilience-review-web.pdf
- United States Environmental Protection Agency. (2015). *Climate change indicators in the United States: Tropical cyclone activity*. Repéré à <http://www.epa.gov/climatechange/science/indicators/weather-climate/cyclones.html>
- United States Global Change Research Program. (2014). *National climate assessment: Changes in Hurricanes*. Repéré à <http://nca2014.globalchange.gov/report/our-changing-climate/changes-hurricanes>
- Vasseur, L., et Catto, N. (2008). *Canada atlantique*. In D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (Éds.), *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* (pp. 119-170). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada.
- Ville de Corner Brook. (2012). *Future Corner Brook: Integrated municipal sustainability plan*. Repéré à http://www.cornerbrook.com/images/CityHall/Development%20and%20Planning/IMSP%20AND%20DEVELOPMENT%20REGULATIONS%202012/CB_IMSP_web_.pdf
- Ville de Miramichi. (2013). *Climate change vulnerability/risk assessment : King George Highway, Route 117 (ETF Project 12-0245)*.
- Water Canada. (2015). *Federal government contributes to flood mitigation efforts in New Brunswick*. Repéré à <http://watercanada.net/2015/federal-government-contributes-to-flood-mitigation-efforts-in-new-brunswick/>
- Webster, T. (2012). *Coastline change in Prince Edward Island, 1968-2010 and 2000-2010*. Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. Repéré à <https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A214>
- Webster, T., Kongwongthai, M., et Crowell, N. (2012). *An evaluation of flood risk to infrastructure across the Chignecto Isthmus*. Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. Repéré à <https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A450>
- Webster, T., McGuigan, K., et MacDonald, C. (2011). *Lidar processing and flood risk mapping for coastal areas in the District of Lunenburg, Town and District of Yarmouth, Amherst, Count Cumberland, Wolfville, and Windsor*. Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. Repéré à <https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A448>
- Williams, R., et Daigle, R. (2011). *Scenarios and guidance for adaptation to climate change and sea-level rise – NS and PEI municipalities*. Nova Scotia Department of Environment et Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. Repéré à https://www.novascotia.ca/nse/climate-change/docs/ScenariosGuidance_WilliamsDaigle.pdf
- Williams, P., et Joshi, M. (2013). Intensification of winter transatlantic aviation turbulence in response to climate change. *Nature : Climate Change*, 3, 644-648.
- Wright, T. (2015, January 30). December rainstorm caused \$9 million in damages for Prince Edward Island. *The Guardian (PEI)*. Repéré à [http://www.theguardian.pe.ca/News/Local/2015-01-30/article-4025578/December-rainstorm-caused-\\$9-million-in-damages-for-Prince-Edward-Island/1](http://www.theguardian.pe.ca/News/Local/2015-01-30/article-4025578/December-rainstorm-caused-$9-million-in-damages-for-Prince-Edward-Island/1)