



4 · COLOMBIE-BRITANNIQUE

CHAPITRE 4 : LA COLOMBIE- BRITANNIQUE

AUTEURS PRINCIPAUX :

DIRK NYLAND¹
JOEL R. NODELMAN²

COLLABORATEUR :

JIM BARNES (MINISTÈRE DES TRANSPORTS ET DE
L'INFRASTRUCTURE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE)

NOTATION BIBLIOGRAPHIQUE RECOMMANDÉE :

Nyland, D., et Nodelman, J.R. (2017). La Colombie-Britannique. Dans K. Palko et D.S. Lemmen (Éds.), *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016* (pp. 74-114). Ottawa (ON) : Gouvernement du Canada.

¹ Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique
² Nodelcorp Consulting Inc.

TABLE DES MATIERES

Principales conclusions.....	76
1.0 Introduction.....	77
1.1 Population	78
1.2 Économie	78
1.3 Géographie	79
2.0 Climat	80
2.1 Tendances observées	81
2.2 Projections sur les changements	83
3.0 Aperçu du système de transport de la Colombie-Britannique	85
3.1 Système routier.....	85
3.2 Transport ferroviaire	87
3.3 Transport aérien	87
3.4 Transport maritime	88
4.0 Réseaux routiers.....	89
4.1 Effets climatiques historiques.....	89
4.2 Risques climatiques futurs	92
4.3 Pratiques d'adaptation	95
5.0 Transport ferroviaire.....	96
5.1 Effets climatiques historiques.....	96
5.2 Risques climatiques futurs	100
5.3 Pratiques d'adaptation	100
6.0 Transport aérien.....	103
6.1 Effets climatiques historiques.....	103
6.2 Risques climatiques futurs	105
6.3 Pratiques d'adaptation	106
7.0 Transport maritime.....	106
7.1 Effets climatiques historiques.....	107
7.2 Risques climatiques futurs	107
7.3 Pratiques d'adaptation	108
8.0 Pratiques provinciales d'adaptation au climat.....	108
9.0 Lacunes dans les renseignements et les connaissances qui nuisent au processus décisionnel	110
10.0 Conclusion	111
Références	112

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- **Les systèmes de transport en Colombie-Britannique ont démontré une vulnérabilité aux événements météorologiques extrêmes et aux changements climatiques.** Les effets particulièrement inquiétants comprennent ceux associés à ce qui suit :
 - les précipitations extrêmes, comme les flux atmosphériques (la tempête Pineapple Express), qui affectent les réseaux routiers et ferroviaires, les voies de transport maritime et les installations aéroportuaires;
 - l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête, qui augmentent les risques d'inondations et de dommages aux infrastructures côtières fixes, y compris l'aéroport international de Vancouver, l'aéroport Sandspit sur Haida Gwaii et Port Metro Vancouver;
 - les grands vents, qui affectent les voies de transport maritime;
 - les problèmes de visibilité, qui affectent les activités aéroportuaires, notamment dans la région de l'intérieur de la Colombie-Britannique.
- **Les voies de transport terrestre de la Colombie-Britannique occupent souvent des corridors à accès restreint dans les montagnes et le long des côtes.** Dans cet environnement, les inondations (associées aux événements de précipitation extrême ou à la fonte des neiges) et les ruptures de versants ont causé des défaillances d'infrastructure sur les réseaux routiers et ferroviaires par le passé. Typiquement, les événements qui ont affecté l'un de ces modes de transport ont également affecté l'autre.
- **Alors que les efforts précédents pour réduire les risques climatiques pour les systèmes de transport sont souvent réactifs et basés sur des données historiques, certaines indications montrent que cette approche est en train de changer.** Les entités de transport sont maintenant prêtes à participer à des études sur les changements climatiques plus larges tournées vers l'avenir et à intégrer leurs constatations dans leurs systèmes.
- **Les évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques de même que des critères de conception d'infrastructure révisés et actualisés peuvent contribuer à améliorer les efforts de planification et d'adaptation relatifs à l'infrastructure de transport de la Colombie-Britannique.** Le gouvernement provincial a procédé à des évaluations de la vulnérabilité des réseaux routiers et continue de surveiller et d'évaluer la hausse du niveau de la mer. Le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique est l'une des premières administrations à demander que les plans de conception d'infrastructure réalisés pour le Ministère tiennent compte des effets des changements climatiques.
- **Compte tenu de l'interdépendance des réseaux de transport en Colombie-Britannique, cette situation présente une occasion de partager la recherche, l'analyse des risques et l'adaptation des pratiques exemplaires entre les divers modes de transport.**

1.0 INTRODUCTION

La Colombie-Britannique est la troisième provinces des plus grandes au Canada et la plus à l'ouest, couvrant plus de 95 millions d'hectares de terre et d'eau douce (soit 10 % de la surface terrestre du Canada; et 27 200 km de littoral (KnowBC, 2016). Sa géographie est accidentée – de vastes chaînes de montagnes enneigées s'étendent le long de la côte et à travers des régions occidentale et méridionale de la province, tandis que le Centre et le NordEst sont caractérisés par des vallées et de larges plaines. Les systèmes de transport provinciaux doivent composer avec de nombreuses anses dans le littoral et de nombreux corridors étroits dans les montagnes composés de quelques grands cols et de centres urbains séparés par de grandes distances. Les activités et les possibilités économiques sont réparties dans l'ensemble de la province, à l'instar des populations et des réseaux de transport.

Comme élément de la côte du Pacifique, le réseau de transport de la Colombie-Britannique fournit un lien essentiel entre l'Amérique du Nord et l'Asie, et facilite la circulation des personnes et des biens pour soutenir le commerce provincial, national et international. Dans ce contexte, les infrastructures aériennes, maritimes, routières et ferroviaires de la Colombie-Britannique doivent être résistantes, efficaces et efficientes. Bien que l'infrastructure en Colombie-Britannique soit conçue pour résister à certains types de conditions météorologiques et climatiques, l'élaboration et le maintien d'un système de transport viable dans le contexte des changements climatiques projetés – y compris la température, les précipitations, les configurations des conditions météorologiques extrêmes et d'autres variables – sont essentiels. Les systèmes de transport dans la province présentent une vulnérabilité tant aux événements météorologiques extrêmes qu'aux changements progressifs des conditions climatiques. Alors que les difficultés persistent en ce qui a trait au recensement de l'emplacement et du niveau critique des points vulnérables de l'infrastructure et à la communication de ces derniers aux décideurs, les progrès accomplis dans l'avancement global de l'adaptation au climat sont évidents.

Le présent chapitre examine les interactions et les vulnérabilités de l'infrastructure et des activités de transport en regard des conditions climatiques et météorologiques changeantes de la Colombie-Britannique. Le chapitre s'attardera surtout sur les approches d'ingénierie à l'adaptation au climat dans le secteur des transports. La science et la pratique de l'adaptation sont des activités relativement nouvelles dans le domaine de l'ingénierie, alors que l'étude des conditions climatiques futures demeure un défi et constitue une nouvelle façon de penser pour les ingénieurs professionnels (voir l'encadré ci-dessous).

ADAPTATION DES PRATIQUES D'INGÉNIERIE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Bien que les ingénieurs aient longtemps considéré les paramètres liés au climat dans le plan de conception technique, la pratique consistait généralement à analyser les tendances historiques. Compte tenu du rythme actuel des changements climatiques, cette approche n'est plus fiable. Les associations provinciales d'ingénieurs réagissent en ajoutant de nouvelles exigences professionnelles pour faire en sorte de tenir compte des effets potentiels des changements climatiques dans le processus de conception pour la durée de vie prévue de l'infrastructure. Il s'agit d'un changement culturel pour les organismes responsables de l'infrastructure, pour les consultants effectuant des plans de conception technique et pour les clients qui commandent les travaux. Il est attendu que les futurs travaux d'ingénierie relatifs à la réhabilitation et à la conception de nouvelles infrastructures refléteront cette approche et ces avancées.

En raison du caractère nouveau de ce domaine et des limites actuelles des modèles climatiques comme moyens pour fournir des renseignements aux concepteurs/projeteurs, il est encore impossible de répondre à de nombreuses questions. Par exemple, un paramètre climatique particulier comme les vents extrêmes aura une incidence considérable sur la fonctionnalité et la sécurité future d'un pont conçu aujourd'hui. Le niveau d'incertitude qui existe dans les prévisions sur le comportement potentiel de ce paramètre dans 75 ans est une question avec laquelle la plupart des ingénieurs n'ont jamais eu à traiter auparavant.

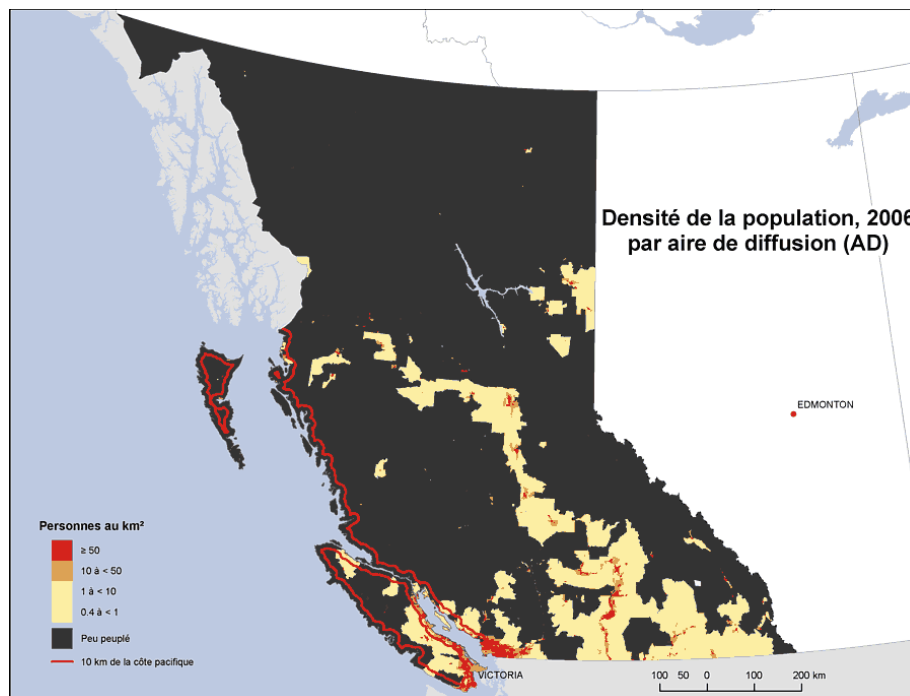
Il faudra du temps aux ingénieurs pour mettre en place des procédures et des processus qui permettront la gestion efficace des changements climatiques, et de maximiser la probabilité que les infrastructures construites aujourd'hui demeurent sûres et efficaces aux fins d'utilisation publique pour toute leur durée de vie.

1.1 POPULATION

En octobre 2014, la population de la Colombie-Britannique s'élevait à 4,7 millions (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2015a). La population est en croissance et de plus en plus urbaine, le Grand Vancouver connaissant la plus forte croissance (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2015b). En 1981, 22 % de la population de la Colombie-Britannique résidait dans les zones rurales et, en 2011 ce pourcentage est passé à 14 % (Statistique Canada, 2011). Alors que le nombre total de résidents dans les zones rurales est resté relativement constant au cours de cette période, à environ 600 000, la population urbaine est passée de 2,1 millions à 3,8 millions.

La majorité de la population de la province est concentrée dans les régions côtières du sud (figure 1). La population de la capitale, Victoria, située au sud de l'île de Vancouver, s'élève à 327 000, alors que celle du Grand Vancouver, dans la partie sud continentale de la province, s'élève à 2,4 millions et compte pour 60 % de la population de la province (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2015b).

Figure 1 : Densités de la population de la Colombie-Britannique pour l'année 2006. Les grands centres urbains se trouvent sur la côte sud, tandis que les régions situées dans les montagnes et au nord sont très faiblement peuplées. (Source : Statistique Canada)



1.2 ÉCONOMIE

En 2013, le produit intérieur brut (PIB) de la Colombie-Britannique s'élevait à 215 milliards de dollars, soit environ 13 % du PIB canadien (Statistique Canada, 2011). Historiquement, l'activité économique de la Colombie-Britannique repose sur les ressources naturelles, y compris la foresterie, l'exploitation minière et la pêche. Bien que ces secteurs soient encore importants aujourd'hui, le secteur des services a gagné en importance, représentant désormais quatre emplois sur cinq. Les secteurs de services clés comprennent les finances, les assurances, l'immobilier, le transport, le commerce de détail et le commerce en gros, le tourisme, l'éducation et le secteur manufacturier.

L'économie de la Colombie-Britannique dépend fortement du commerce, y compris des importations et des exportations internationales et interprovinciales (tableau 1). Le commerce dans la région de l'Asie-Pacifique a augmenté de façon considérable depuis 2001. Compte tenu de la croissance de

la Chine en tant que centre mondial dans le secteur manufacturier, la demande pour les ressources naturelles de la Colombie-Britannique a augmenté. En 2011, la Colombie-Britannique a exporté davantage vers les États de la côte du Pacifique qu'aux États-Unis.

Les exigences accrues de la Chine et de l'Inde ont mis à l'épreuve la capacité de l'infrastructure de transport de la Colombie-Britannique à répondre à ces nouvelles possibilités. L'infrastructure de la Colombie-Britannique a joué un rôle clé dans le commerce international en raison de son emplacement stratégique. Par exemple, Prince Rupert, le port canadien le plus près de la région de l'Asie-Pacifique, permet de sauver près de 68 heures d'expédition par rapport aux endroits situés plus au sud comme Long Beach à Los Angeles (port de Prince Rupert, 2014).

Tableau 1 : Commerce international et interprovincial en Colombie-Britannique en 2013 (Source : Statistique Canada, 2015a).

VOLET DE COMMERCE		VALEUR	POURCENTAGE DU PIB PROVINCIAL
Exportations	Internationales	49,2 milliards de dollars	23 %
	Interprovinciales	35,7 milliards de dollars	17 %
Importations	Internationales	57,8 milliards de dollars	27 %
	Interprovinciales	41,8 milliards de dollars	19 %

1.3 GÉOGRAPHIE

La géographie unique de la Colombie-Britannique influe fortement sur les systèmes de transport de la province (figure 2). Généralement, les voies de transport terrestre suivent les voies fluviales et les cols de montagne, contrastant avec les agencements en mode linéaire typiques de beaucoup d'autres régions du Canada. Par conséquent, les routes comportent souvent des itinéraires indirects de même que des changements importants d'élévation.

Figure 2 : Attributs physiologiques de la Colombie-Britannique. (Source : Encyclopedia of British Columbia et KnowBC.com)

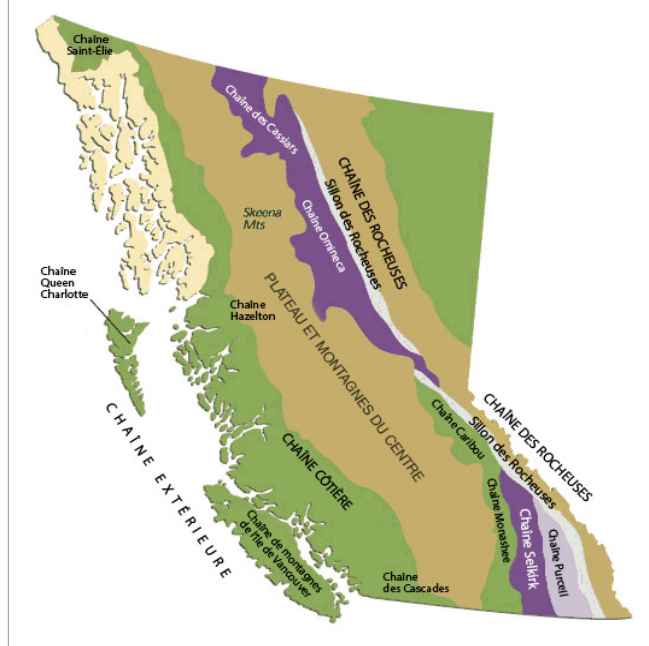
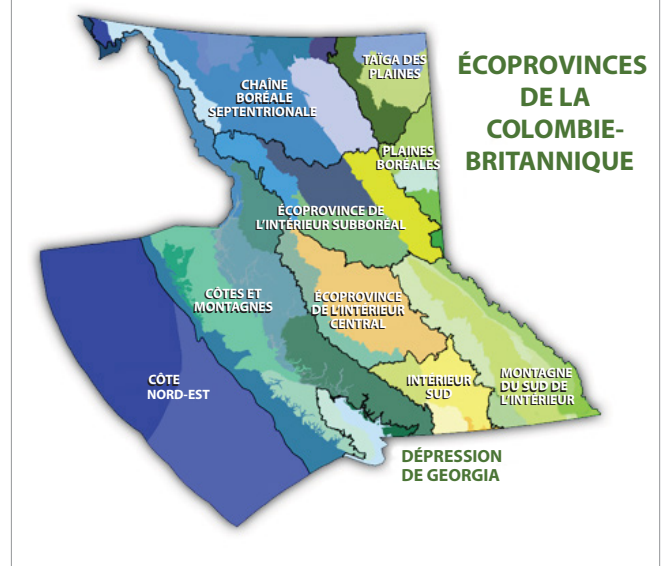


Figure 3 : Les écoprovinces de la Colombie-Britannique : Zones climatiques de la Colombie-Britannique. (Source : Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique)



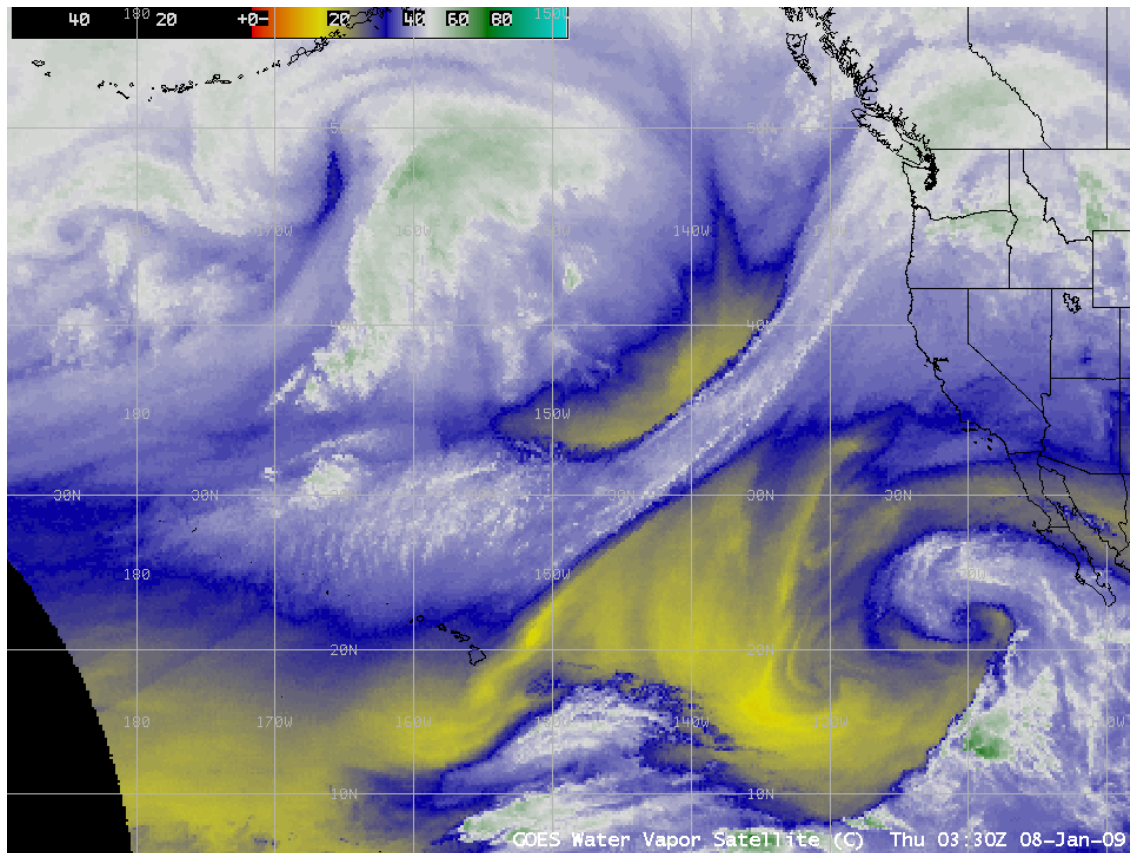
La Colombie-Britannique est composée de dix éco-provinces telles qu'elles sont définies par le système de classification des éco-régions provinciales (figure 3). Les éco-provinces sont des zones qui présentent des processus climatiques, une océanographie, une topographie et un relief régionaux uniformes. Chacune possède un climat unique et des sensibilités au risque différentes aux changements climatiques attendus. Les éco-provinces correspondent généralement aux caractéristiques physiographiques de la province, à l'instar des principaux corridors de transport. Dans ce contexte, il est possible d'évaluer la manière dont les tendances liées aux changements climatiques en Colombie-Britannique peuvent affecter les systèmes de transport à l'aide des projections généralisées sur les changements climatiques pour les éco-provinces pertinentes de la Colombie-Britannique.

2.0 CLIMAT

La diversité du paysage, y compris les grandes chaînes de montagnes, de même que la proximité de la Colombie-Britannique à l'Océan pacifique, a une grande influence sur les régimes climatiques dans différentes régions de la province (Pacific Climate Impacts Consortium, 2013a). L'une des caractéristiques importantes du climat de la Colombie-Britannique est un phénomène connu sous le nom de « flux atmosphérique » qui est associé à de très abondantes précipitations et dont les répercussions ont été importantes sur les systèmes de transport. Les flux atmosphériques sont de longs panaches étroits d'humidité très concentrée dans l'atmosphère qui déplacent l'humidité depuis les régions tropicales vers les pôles à travers les latitudes moyennes. « Pineapple Express » est le terme utilisé pour caractériser un flux atmosphérique dont les origines proviennent du Pacifique occidental, à l'est d'Hawaï, qui se déplace et qui influe sur la côte ouest de l'Amérique du Nord entre la Colombie-Britannique et la Californie (figure 4). Typiquement, les flux atmosphériques sont d'une largeur de plusieurs centaines de kilomètres et d'une longueur de milliers de kilomètres, et contiennent entre 3 cm et 6 cm de vapeur d'eau au cœur du flux (Pacific Climate Impacts Consortium, 2013a).

Les flux atmosphériques surviennent le plus souvent à l'automne et à l'hiver en Colombie-Britannique. Leurs répercussions sont plus importantes dans les régions côtières, où l'air chargé de vapeur d'eau s'élève au-dessus de la chaîne côtière et entraîne des précipitations abondantes. Les répercussions ont été considérables. Par exemple, le cas extrême de janvier 2009 présenté à la figure 4 a duré deux jours et a coûté près de 16 millions de dollars, tandis qu'un autre événement de deux jours en juin 2011 a causé des inondations et a coûté plus de 85 millions de dollars. En 2012, 15 cas répertoriés d'inondation ont touché plus de 100 collectivités en Colombie-Britannique (Pacific Climate Impacts Consortium, 2013a).

Figure 4 : Rivière atmosphérique sillonnant la Colombie-Britannique le 8 janvier 2009. Les couleurs de l'image ci-dessous représentent la vapeur d'eau au milieu des couches supérieures de l'atmosphère. Les nuances de blanc au vert indiquent les zones humides à nuageuses, et les nuances de bleu au jaune indiquent les zones plus sèches. (Source : Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies / University of Wisconsin – Madison)



2.1 TENDANCES OBSERVÉES

Le Pacifique Climate Impacts Consortium (PCIC) a mené d'importants travaux de caractérisation du climat actuel, de détermination des tendances, et de projection des conditions climatiques futures pour de nombreuses régions de la Colombie-Britannique. Ces rapports présentent une analyse des tendances à travers la province pour la période de 1901 à 2009 (tableau 2). Au cours de cette période, la Colombie-Britannique a connu des changements dans la température et dans les précipitations. Ces tendances se sont accélérées depuis les années 1950. Dans l'ensemble, la température dans la province a augmenté de 0,18 °C par décennie depuis 1951, une augmentation globale de 1 °C. Concomitamment, la province a connu généralement des étés, des printemps et des automnes plus humides et des hivers nettement plus secs.

Tableau 2 : Tendances de la température et des précipitations en Colombie-Britannique par écoprovince. (Source : Pacific Climate Impacts Consortium, 2013b)

Écoprovince	Tendances de la température (°C par décennie)		Tendances des précipitations (mm/saison par décennie)			
	1901–2009	1951–2009	1901–2009		1951–2009	
			PÉA	H	PÉA	H
Région centrale de l'intérieur	0,13	0,20	3	3	3,7	3
Région méridionale des montagnes intérieures	0,12	0,16	5	4	7,7	12
Plaines de la Taïga/plaines boréales	0,22	0,25	3,3	2	2,3	1
Région sub-boréale de l'intérieur	0,19	0,25	3,7	3	3,3	3
Région montagneuse boréale septentrionale	0,16	0,21	3	4	2,3	5
Dépression de Géorgie	0,12	0,20	4,7	6	5	13
Région méridionale de l'intérieur	0,12	0,21	4,3	3	6,7	6
Région des côtes et des montagnes	0,13	0,18	3	8	8	6
Moyenne provinciale	0,13	0,18	3,33	3,67	4,33	-5,44

PÉA = Printemps, été, automne

H = Hiver

Le niveau relatif de la mer (par rapport à la hauteur de la terre) est également en train de changer en Colombie-Britannique, avec une variabilité importante dans les zones côtières. Par exemple, au cours des 50 dernières années, le niveau de la mer a augmenté de 3,1 cm à Victoria, et de 2,0 cm à Vancouver, mais a diminué de 8,4 cm à Tofino (Vadeboncoeur, 2016). Bon nombre de facteurs contribuent aux changements au niveau des océans, y compris les effets des conditions atmosphériques et océanographiques, comme les ondes de tempête et les cycles de variabilité climatique (p. ex., oscillation décennale du Pacifique) [Vadeboncoeur, 2016]. L'un des principaux facteurs ayant une incidence sur le changement relatif du niveau de la mer en Colombie-Britannique est le mouvement vertical du sol, qui est attribuable à une combinaison d'activité tectonique (interactions des plaques océaniques Juan de Fuca et du Pacifique avec la plaque nord-américaine), d'ajustement glacio-isostatique (le mouvement continu du sol autrefois couvert de glaciers provenant de la dernière période glaciaire) et de changements à la masse glaciaire de la chaîne côtière et du golfe d'Alaska (Vadeboncoeur, 2016). Parmi les autres facteurs contribuant à la variabilité régionale du niveau de la mer, on retrouve l'influence de la fonte des glaciers sur les eaux océaniques à proximité et les modifications à la topographie de la surface océanique en raison des courants océaniques changeants (Vadeboncoeur, 2016).

En plus de représenter une menace d'inondations côtières à long terme, l'élévation du niveau de la mer augmente le risque d'inondations par les ondes de tempête. L'eau plus profonde augmente la hauteur et l'énergie des vagues. Les niveaux d'eau élevés extrêmes, qui se produisent généralement lorsque des ondes de tempête se superposent aux marées hautes, peuvent être particulièrement destructeurs pour les infrastructures côtières.

2.2 PROJECTIONS SUR LES CHANGEMENTS

L'outil Plan2Adapt (Pacific Climate Impacts Consortium, 2013c), conçu par le Pacific Climate Impacts Consortium, fournit des projections généralisées sur les changements climatiques pour la Colombie-Britannique pour trois horizons prévisionnels ainsi que pour chacune des désignations d'écoprovince au moyen d'un ensembletype de projections par modèle climatique (tableaux 3 et 4). Les projections correspondent généralement aux tendances climatiques observées (section 2.1). Globalement, le climat en Colombie-Britannique se transformera et connaîtra au cours des 80 prochaines années un réchauffement annuel pouvant atteindre 2,7 °C, des hivers plus humides, des étés généralement plus secs et des périodes beaucoup plus longues sans gel.

Tableau 3 : Changements projetés à des variables climatiques sélectionnées pour la province de la Colombie-Britannique pour trois périodes de temps – années 2020, 2050 et 2080. Les changements projetés sont calculés par rapport aux données pour la période de référence de 1961 à 1990. La moyenne de l'ensemble est une valeur médiane, obtenue d'un ensemble de 15 projections du modèle climatique mondial (MCM) pour A2 et B1. (Pacific Climate Impacts Consortium, 2013c)

Variable climatique	Saison	Changements projetés par rapport à la période de référence de 1961 à 1990 Moyenne de l'ensemble		
		Années 2020 (2010-2039)	Années 2050 (2040-2069)	Années 2080 (2070-2099)
Température moyenne	Annuelle	+1,0	+1,8 °C	+2,7 °C
Précipitations	Annuelle	+4 %	+6 %	+9 %
	Été	+0 %	1 %	+0 %
	Hiver	+4 %	+8 %	+13 %
Chutes de neige	Hiver	2 %	10 %	12 %
	Printemps	30 %	58 %	70 %
Journées sans gel	Annuelle	+10 jours	+20 jours	+30 jours

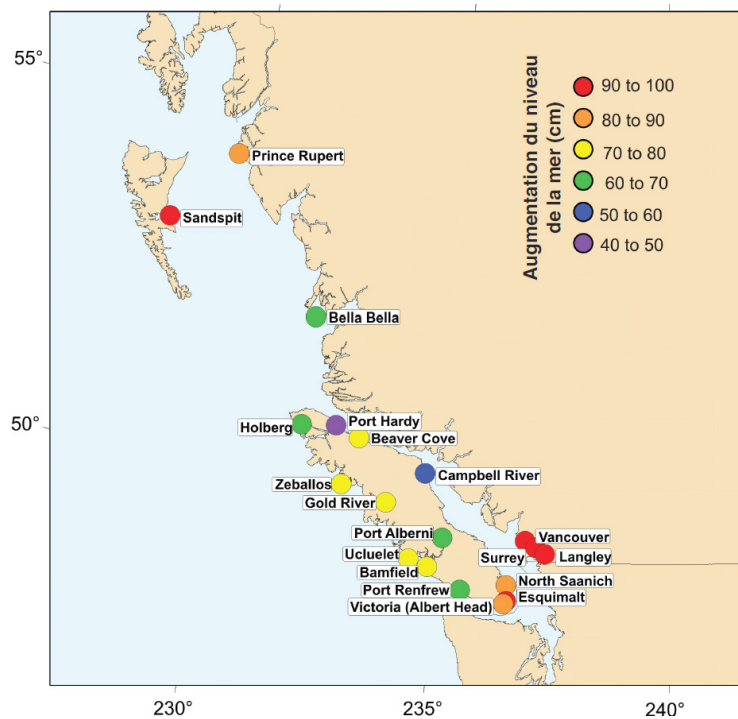
Tableau 4 : Changements projetés dans des variables climatiques sélectionnées pour les années 2080 pour les écoprovinces de la Colombie-Britannique. « + » indique une augmentation, « - » indique une diminution. (Source : Pacific Climate Impacts Consortium, 2013c)

Écoprovince	Augmentation de température annuelle moyenne	Précipitations				Journées sans gel	Sommaire
		Annuelles	Étés	Hivers	Chutes de neige		
Région centrale de l'intérieur	+2,6	+	-	+	-74%	+35	Hivers plus chauds et humides Étés beaucoup plus secs
Région méridionale des montagnes intérieures	+2,7	+	-	+	-69%	+34	Hivers plus chauds et humides Étés beaucoup plus secs
Plaines de la Taïga	+3,0	+	+	+	-75%	+21	Hivers et étés plus chauds et humides
Plaines boréales	+2,8	+	Aucun changement	+	-75%	+21	Hivers plus chauds et humides Aucun changement aux précipitations estivales
Région sub boréale de l'intérieur	+2,6	+	Aucun changement	+	-75%	+30	Hivers plus chauds et humides Aucun changement aux précipitations estivales
Dépression de Géorgie	+2,6	+	-	+	-54%	+26	Hivers plus chauds et humides Étés plus secs
Région méridionale de l'intérieur	+2,8	+	-	+	-75%	+37	Hivers plus chauds et humides Étés beaucoup plus secs
Région des côtes et des montagnes	+2,4	+	-	+	-71%	+35	Hivers plus chauds et humides Étés beaucoup plus secs

Les changements climatiques sont non seulement reliés à des conditions de réchauffement, mais aussi à des événements météorologiques extrêmes tels que les précipitations de forte intensité (Murdock and Sobie, 2013). Les analyses préliminaires du Pacific Climate Impacts Consortium indiquent que la fréquence des événements de type « Pineapple Express » va augmenter de 2041 à 2070, où les plus fortes hausses auront lieu sur la côte. Le nombre moyen de jours de flux atmosphériques annuels devrait approximativement doubler dans la plupart des régions, y compris à l'intérieur.

Les changements projetés liés au niveau de la mer en Colombie-Britannique (figure 5) sont semblables aux modèles historiques (section 2.1). Les élévations du niveau de la mer les plus importantes devraient se produire le long de la région continentale méridionale et du sud-est de l'île de Vancouver. L'élévation du niveau de la mer devrait être moins importante dans les zones où il y a un soulèvement tectonique considérable. Les projections varient en fonction des scénarios d'émissions, et les variations du niveau relatif de la mer pourraient être négligeables à certains endroits dans le cadre d'un scénario de faible croissance des émissions.

Figure 5 : Projections de l'élévation relative du niveau de la mer pour l'année 2100 selon la valeur médiane du scénario d'émissions élevées (RCP8.5; après James et coll., 2014; Atkinson et coll., 2016). Voir Vadeboncoeur (2016) pour obtenir des renseignements supplémentaires sur les projections relatives au niveau de la mer. (Source : Ressources naturelles Canada)



3.0 APERÇU DU SYSTÈME DE TRANSPORT DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Le système de transport de la Colombie-Britannique englobe une variété de modes de transport différents, y compris des systèmes de routes et d'autoroutes, des réseaux ferroviaires, maritimes et aériens, de même que des systèmes urbains de transport en commun. Les divers centres et réseaux liés à ces différents modes de transport interagissent pour offrir un système de transport cohérent qui soutient les habitants et l'économie de la province de la Colombie-Britannique, comme l'illustrent les figures 6 et 7. L'alignement des principaux corridors et centres de transport le long des côtes et dans les cols et les corridors montagneux est évident.

Le présent chapitre porte sur les systèmes de transport routier, ferroviaire, maritime et aérien; les systèmes de transport urbain sont abordés dans le chapitre 9. Bien que ce chapitre aborde chaque mode de transport individuellement, il est important de comprendre qu'ils sont fortement intégrés. Les répercussions météorologiques qui affectent un mode de transport peuvent également avoir des effets négatifs sur d'autres modes.

3.1 SYSTÈME ROUTIER

La Colombie-Britannique compte plus de 46 000 km de routes, incluant les routes provinciales (12 700 km) et secondaires (33 300 km) (ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014a; figure 7), en plus des autres routes municipales et fédérales. Le système routier compte plus de 2 800 ponts (ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014a).

Figure 6 : Les principales infrastructures de transport en Colombie-Britannique, y compris dans les zones de pergélisol.

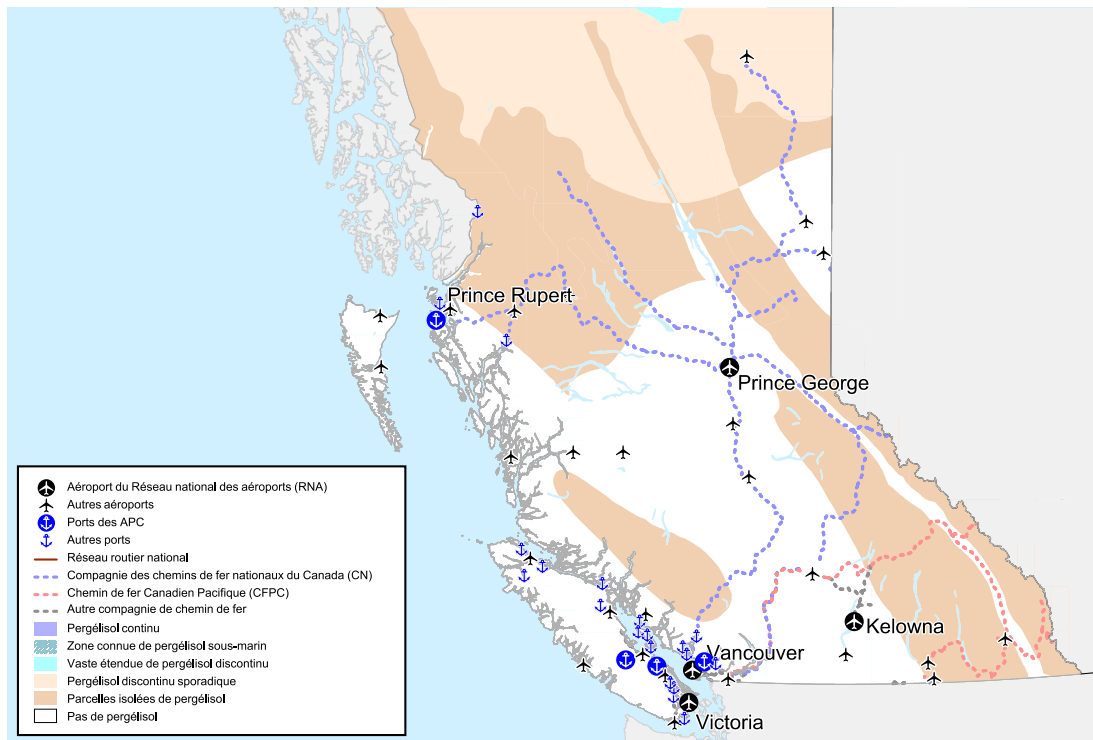
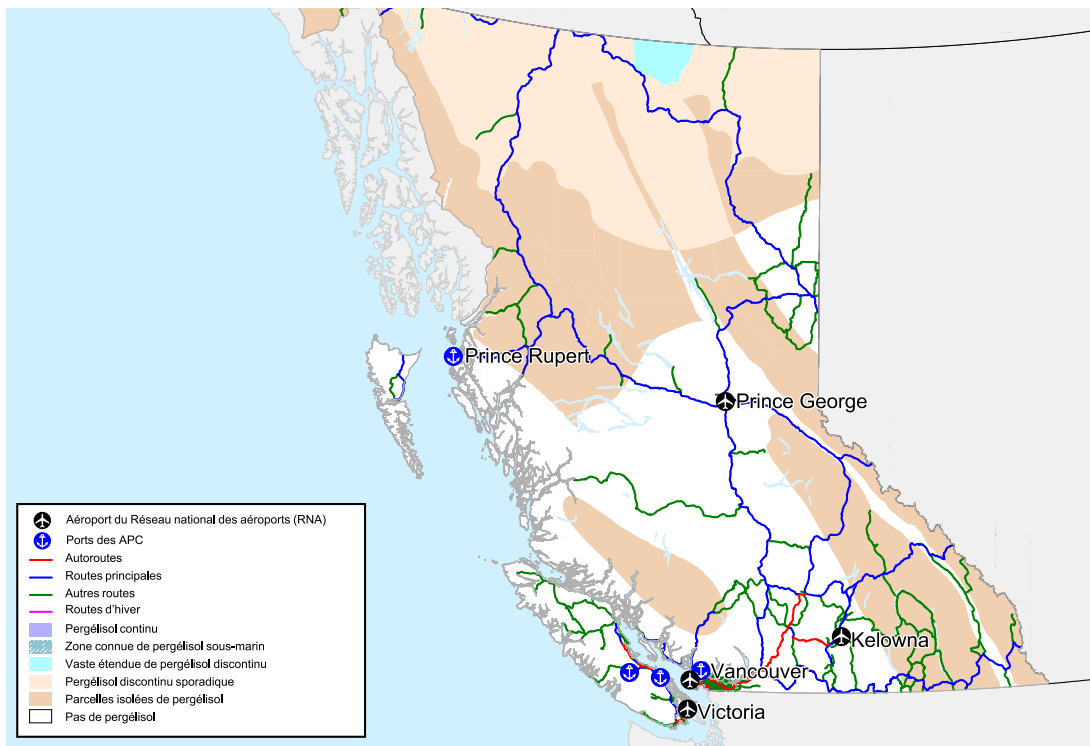


Figure 7 : Infrastructure routière en Colombie-Britannique.



En 2013, trois millions de véhicules routiers étaient immatriculés en Colombie-Britannique, ce qui représente 13 % du total des véhicules routiers immatriculés au Canada lors de cette même année. Ce nombre comprend 2,7 millions de véhicules légers (voitures, VUS et camions légers), soit environ un véhicule par 1,7 personne dans la province (Statistique Canada, 2015b). La population de la Colombie-Britannique est donc fortement dépendante du système routier. Les interruptions d'accès aux réseaux routiers causées par les conditions climatiques peuvent avoir une incidence considérable sur la vie et la subsistance des habitants de la Colombie-Britannique.

3.2 TRANSPORT FERROVIAIRE

La Colombie-Britannique compte environ 6 500 km de chemins de fer (figure 6), principalement desservis par le Canadien National (CN) (~ 4 400 km) et le Canadien Pacifique (CP) (~ 1 720 km). Les chemins de fer régionaux représentent 402 km supplémentaires de voies ferrées. Cette imposante infrastructure est conçue pour faciliter la circulation efficace des marchandises qui passent par la Porte d'entrée de l'AsiePacifique. Les voies ferrées permettent d'assurer un service à longueur d'année, vingtquatre heures sur vingtquatre aux réseaux de ports et de terminaux de Vancouver et de Prince Rupert.

Les principales lignes ferroviaires du CN en Colombie-Britannique s'étendent de Vancouver à Edmonton, en Alberta, de Fort Nelson à Vancouver et de Prince Rupert à Edmonton. Le CN emploie trois terminaux intermodaux dans la province situés à Vancouver, Prince George et Prince Rupert (CN, 2015). Le CN exploite également un service intermodal de Prince Rupert, en Colombie-Britannique à Whittier, en Alaska. Surnommé l'aquatrain, les wagons sont chargés directement sur une barge et transportés. L'Alaska dépend entièrement du service aquatrain du CN pour le transport de ses marchandises, car ce service est relié à toutes les lignes de trains de marchandises de l'Alaska (Alaskarails, 2015).

La ligne principale du CP s'étend de Vancouver à un terminal intermodal à Calgary, en Alberta. Le CP possède également un terminal intermodal à Vancouver (CP, 2015).

En 2013, le système ferroviaire de la Colombie-Britannique a transporté 63 millions de tonnes de marchandises, ce qui représente plus de 20 % du total canadien (Statistique Canada, 2015c). Parmi ces marchandises, les principaux produits transportés, en tonnage, étaient le charbon, le bois et les produits du bois, le soufre, le ciment, les automobiles et le blé. Bon nombre de ces marchandises reflètent la nature de l'économie de la Colombie-Britannique qui est axée sur les ressources, et témoignent de l'impact du commerce avec les États de la côte du Pacifique.

En plus de services de transport de marchandises, VIA Rail offre des services passagers par l'entremise de deux corridors, de Toronto, Ontario à Vancouver (Le Canadien) [Via Rail, 2015a] et de Jasper, Alberta à Prince Rupert, Colombie-Britannique (Ouest canadien) [Via Rail, 2015b].

3.3 TRANSPORT AÉRIEN

La Colombie-Britannique compte 39 aéroports homologués par le gouvernement fédéral pour le service passagers, en plus de 251 aéroports, aérodromes, héliports terrestres et hydroaérodromes enregistrés (Transports Canada, 2015; gouvernement de la Colombie-Britannique, 2016a). Les aéroports certifiés comprennent Vancouver, le deuxième aéroport le plus achalandé au Canada, Victoria le dixième plus achalandé de même que Kelowna, le onzième plus achalandé (Travel BC, 2016). (Voir la figure 6 pour les principaux aéroports). L'aéroport international de Vancouver (YVR) a accueilli plus de 19 millions de passagers et plus de 256 900 tonnes de marchandises en 2014 (Administration de l'aéroport de Vancouver, 2014). Il est prévu que les plans d'expansion de l'aéroport augmenteront la capacité.

3.4 TRANSPORT MARITIME

La Colombie-Britannique dispose de trois ports internationaux, quatre ports régionaux, et de 40 ports locaux (voir la figure 6 pour principaux ports). Le Port Metro Vancouver est le premier port maritime en importance et le plus achalandé du Canada, représentant des échanges commerciaux de plus de 187 milliards de dollars par année avec plus de 160 pays (Port Metro Vancouver, 2014), et un apport d'environ 10,5 milliards de dollars supplémentaires à l'économie nationale (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2011a). Les trois ports à conteneurs de Vancouver, Prince Rupert et Nanaimo de même que les grands ports à Kitimat et Squamish sont interconnectés aux systèmes ferroviaire et routier. Les ports de Stewart, Port Alberni et Victoria sont seulement reliés au réseau routier. Prince Rupert, dont la capacité est de 750 000 EVP – les expéditions par conteneurs sont mesurées en équivalents vingt pieds (EVP), représentant un conteneur d'expédition de taille standard (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2011b; Groupe de la Banque mondiale, 2016), est le terminal du corridor nord de la porte d'entrée du Pacifique. Vancouver est le terminal pour le corridor sud de la porte d'entrée du Pacifique, prenant en charge près de 2,9 millions d'EVP de trafic conteneurs annuellement (Port Metro Vancouver, 2015a).

En 2010, les ports maritimes de la province ont pris en charge :

- 85 millions de tonnes de trafic de marchandises;
- 2,86 millions d'EVP de trafic de conteneurs.

Les principales exportations, en tonnage, étaient le charbon, les produits forestiers, le grain, la potasse, les produits pétroliers et les métaux, les minéraux et les produits chimiques. Les principales importations comprenaient les voitures, les articles ménagers, les matériaux de construction, la machinerie, les produits de manufacture, les métaux de base et les boissons. Les ports maritimes de la Colombie-Britannique prennent en charge également un important volume de trafic passagers. Par exemple, en 2014, le port de Vancouver a pris en charge 812 000 passagers de croisières (Port Metro Vancouver, 2015b).

Les traversiers sont un autre élément clé du système de transport maritime de la province. En 2014, 7,7 millions de véhicules ont été transportés par traversier par l'entremise du système de traversiers de la province, ce qui représente 19,8 millions de passagers sur 171 000 appareillages (British Columbia Ferry Services Inc., 2015). BC Ferries, anciennement une société d'État et maintenant une entreprise commerciale, dispose de 35 navires et de 47 ports d'escale qui fournissent des services de transport passagers et de marchandises pour les régions côtières de la Colombie-Britannique. Les liaisons par traversier avec les États-Unis depuis la Colombie-Britannique comprennent l'Alaska Marine Highway System, qui assure le transport entre Prince Rupert et le sud-est de l'Alaska. Dans le Sud, des traversiers desservent les emplacements côtiers et insulaires entre la Colombie-Britannique et l'État de Washington. À l'intérieur des terres, des traversiers assurent les services de traverse des passagers et de marchandises sur les rivières et les lacs. D'autres bâtiments tels que les bateaux-taxis assurent également le transport à divers endroits.

La prochaine section décrit les effets climatiques historiques, les risques climatiques futurs et les pratiques d'adaptation en ce qui concerne le transport routier, ferroviaire, aérien et maritime en Colombie-Britannique. La discussion sur les répercussions historiques comprend plusieurs études d'événements de cas portant sur des événements climatiques précis.

4.0 RÉSEAUX ROUTIERS

4.1 EFFETS CLIMATIQUES HISTORIQUES

Les autoroutes Colombie-Britannique ont présenté une vulnérabilité évidente aux événements de pluie extrêmes qui ont causé des affouillements, des blocages à la suite de coulées de boue et des fermetures de ponts. Les précipitations abondantes peuvent provoquer le débordement de rivières et de ruisseaux, et peuvent également causer des coulées de débris qui peuvent bloquer les routes et obstruer les ponceaux, entraînant des affouillements. Des débris peuvent également s'accumuler au niveau des structures de pont, pouvant entraîner la défaillance de ces dernières. Dans certains cas, ces événements peuvent entraîner l'isolement de communautés de leurs principaux axes de ravitaillement.

Trois événements, qui ont tous causé des affouillements, sont présentés ici pour illustrer les vulnérabilités au climat de l'infrastructure routière de la Colombie-Britannique. Les endroits où se sont produits ces événements ont fait l'objet, par la suite, d'évaluations de la vulnérabilité par le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique (voir la section 4.1.2).

Bella Coola – septembre 2010

Les 25 et 26 septembre 2010, un intense système frontal s'est immobilisé au-dessus de la côte du centre de la Colombie-Britannique, provoquant de fortes quantités de pluie qui ont dépassé les 200 mm qui reviennent une fois aux 200 ans (TranBC, 2016). Les précipitations ont causé des affouillements et des éboulements qui, en raison des inondations, ont forcé la fermeture de la route 20 entre Tatla Lake et Bella Coola (figure 8). La route était impraticable à 12 endroits, alors que 12,5 km de la route ont été endommagés, inondés ou tout simplement emportés. L'incidence de la fermeture de la route sur les collectivités locales a été aggravée par d'autres conséquences de la tempête en raison de la dépendance des résidents au diesel pour produire de l'électricité pour le chauffage, l'eau et d'autres services essentiels. L'accès par la route à Tatla Lake et à Bella Coola n'a pas été entièrement rétabli avant 17 jours et a entraîné des coûts de réparation des routes de 45 millions de dollars.

Figure 8 : Bella Coola – Répercussions des inondations sur la route 20 : Route Sallompt – Affouillement à l'approche du pont. (Source : Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique)



Pine Pass – juin 2011

Quinze sites le long de la route 97 dans le col Pine Pass ont été endommagés lors d'un épisode de pluie qui revient aux 100 ans entre les 25 et 26 juin 2011 (ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014b). Des routes ont été emportées et des ponts ont été inondés (figure 9). La tempête a affecté l'ensemble de la région de Peace en Colombie-Britannique, avec des inondations et des affouillements importants touchant plus de 280 endroits sur environ 140 routes. L'accès par la route au nord de Prince George a été fermé, limitant les déplacements touristiques entre la Colombie-Britannique et l'Alaska. La réparation des routes à la suite de cette tempête a pris tout l'été de 2012 et a entraîné des coûts de réparation de 80 millions de dollars.

Figure 9 : Pine Pass – Répercussions sur la route 97 : Accès par la route bloqué entre Pine Pass et Chetwynd. (Source : Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique)



Stewart – septembre 2011

Au début de septembre 2011, 333 mm de pluie sont tombés dans la région de Stewart en Colombie-Britannique, y compris 111 mm de pluie en une seule période de 24 heures (Fraser Basin Council, 2015). L'événement a provoqué d'importantes inondations et a entraîné des affouillements et des dommages à des ponts, y compris au pont de Bitter Creek (figure 10). Les affouillements et l'affaissement de ce pont ont forcé la fermeture de 61,5 km de la route 37A entre Stewart et à la jonction de la route 37 à Meziadin. L'affaissement du pont a isolé la ville de Stewart du reste de la Colombie-Britannique, laissant en plan 117 touristes et véhicules. Les touristes ont dû être transportés par les airs à Prince Rupert, tandis que les véhicules ont été extraits de la région à l'aide de barges. Un pont temporaire a été construit par le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, qui a ensuite été remplacé par une structure permanente. Le montant des dommages au réseau routier à la suite de la tempête a atteint 7 millions de dollars en coûts d'intervention et 11 millions de dollars en coûts pour les réparations qui ont été achevées au cours de l'été 2012.

Figure 10 : Stewart – Incidence des inondations sur la route 37A : Affaissement du point de Bitter Creek. (Source : Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique)



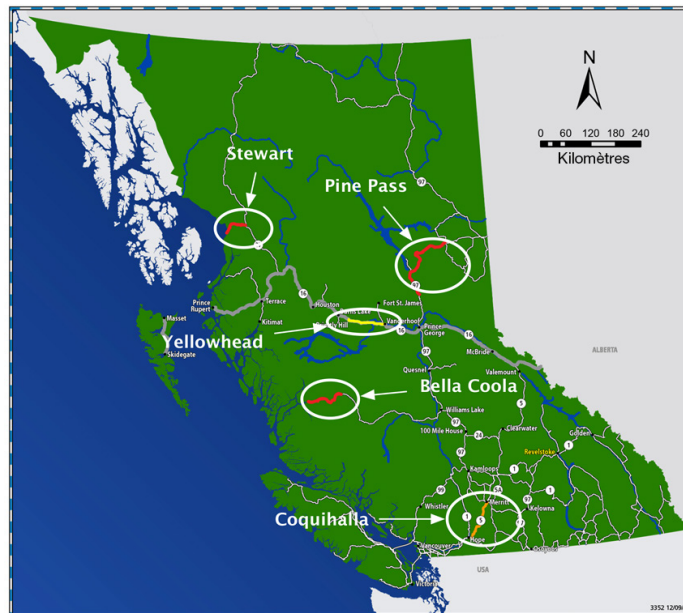
4.2 RISQUES CLIMATIQUES FUTURS

Le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique a terminé cinq évaluations à l'aide du protocole d'ingénierie du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) (voir l'encadré cidessous) afin de déterminer la vulnérabilité des infrastructures de transport routier en Colombie-Britannique en lien aux futurs changements climatiques, et de recenser de possibles mesures d'adaptation (tableau 5, figure 11) (ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014b). Les évaluations portaient sur un large éventail de conditions géographiques et climatiques.

Tableau 5 : Évaluations de la vulnérabilité par le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique. (Source : Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014c)

Écoprovince	Route	Emplacement	Date d'achèvement
Région méridionale de l'intérieur	Route Coquihalla (route provinciale 5)	Entre Nicolum River et Dry Gulch	Juin 2010
Région sub-boréale de l'intérieur	Route 16 Yellowhead	Entre Vanderhoof et Priestly Hill	Avr. 2011
Région des côtes et des montagnes	Route 20	Région de Bella Coola	Sept. 2013
Région des côtes et des montagnes	Route 37A	Région de Stewart	Sept. 2013
Région sub-boréale de l'intérieur	Route 97	Région de Pine Pass	Sept. 2013

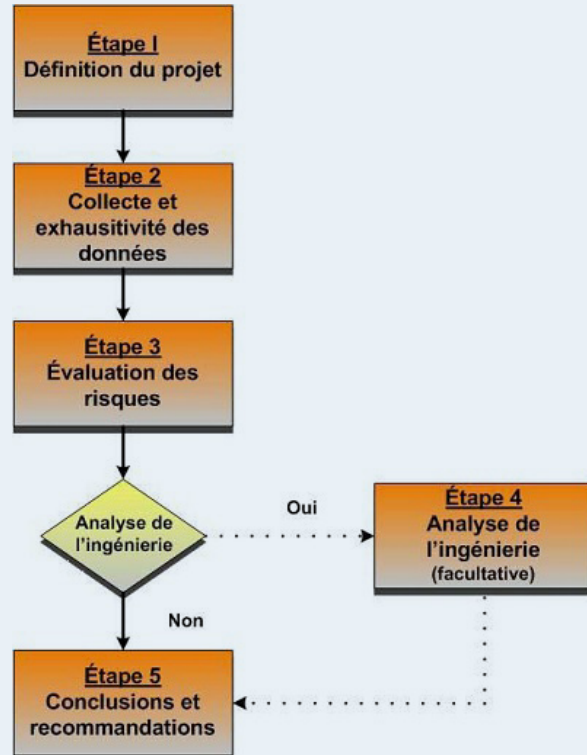
Figure 11 : Emplacement des évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques par le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique. (Source : Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique)



Le **protocole d'ingénierie du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP)**, dirigé par Ingénieurs Canada, est un processus en cinq étapes mis sur pied pour analyser la vulnérabilité de l'ingénierie des systèmes d'infrastructure individuels en fonction du climat actuel et des projections climatiques (voir la figure 12). Depuis 2012, le protocole a été appliqué à une grande variété de types d'infrastructure, notamment les routes et les aéroports.

Pour obtenir plus d'informations, consulter le site <http://pievc.ca/fr>

Figure 12 : Le processus du protocole d'ingénierie du CVIIP. (Source : Ingénieurs Canada)



Les évaluations des routes Coquihalla et Yellowhead ont tenu compte d'un très large éventail d'éléments d'infrastructure et de paramètres climatiques, y compris les suivants :

- les températures faibles et élevées;
- les cycles de gel et de dégel;
- le gel et la pénétration du gel;
- les précipitations – les précipitations annuelles, très sévères; soutenues;
- la fréquence des chutes de neige; les tempêtes de neige et les blizzards;
- la pluiesur neige, la grêle/la pluie verglaçante; la pluie sur le sol gelé;
- les rafales ascendantes et descendantes;
- le dégel rapide; les événements de débit de pointe provoqués par la fonte des neiges (crue nivale);
- la glace et les étranglements de glace;
- le gel du sol.

Les résultats de ces deux évaluations ont permis de recenser une vulnérabilité commune – l'impact des précipitations extrêmes, comme les précipitations de haute intensité et de courte durée (PHICD) sur l'infrastructure de drainage des routes (voir l'encadré). Ce risque était plus prononcé sur le lieu de l'étude sur la route Coquihalla, où l'augmentation future de l'intensité et de la fréquence des phénomènes de flux atmosphériques a été désignée comme une vulnérabilité très importante. Une tendance en matière de risque semblable a été observée pour la route Yellowhead (ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014d).

À la suite de ces constatations et de récents événements extrêmes de précipitations en Colombie-Britannique qui ont endommagé les infrastructures routières, les trois autres évaluations des routes se sont concentrées sur les précipitations extrêmes et sur d'autres événements de drainage problématique.

CALCUL DES VALEURS DE PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES POUR ÉVALUER LA VULNÉRABILITÉ DE L'INFRASTRUCTURE

Les valeurs des événements extrêmes de précipitations relatifs à la conception ne sont pas toujours facilement disponibles aux fins d'évaluation de la vulnérabilité, en particulier pour les infrastructures plus âgées ou par l'entremise de travaux de projection climatique. Les valeurs utilisées pour les évaluations de la vulnérabilité dépendent de la conception du système d'infrastructure qui, dans le passé, comptait sur les renseignements climatologiques historiques sur les événements extrêmes. Elles peuvent varier considérablement selon l'emplacement, la topographie, les conditions météorologiques et climatiques locales et historiques et selon l'infrastructure en question. Par exemple, pour l'évaluation de la route Coquihalla, les précipitations de > 76 mm sur une période de 24 heures étaient considérées comme des événements extrêmes de précipitations, tandis que pour les évaluations de la route Yellowhead et des routes 20, 37A et 97, les valeurs de précipitations pour une période de 24 heures étaient de > 35 mm et de > 98 mm respectivement pour être considérées comme des événements extrêmes de précipitations. Alors que les protections générales décrites à la section 3 offrent un point de départ pour ce type d'analyse, elles ne représentent que la première étape de l'analyse plus ciblée qui est nécessaire pour répondre aux questions touchant à des systèmes d'infrastructure particuliers.

Tableau 6 : Sommaire des constatations des évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques par le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique.

(Source : Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014c)

Évaluation de la vulnérabilité	Sommaire des constatations
Coquihalla	Toutes les vulnérabilités de haut niveau relevées pour ce segment de route étaient liées à des événements relatifs aux PHICD. Les événements relatifs aux PHICD dominaient également les résultats relatifs aux vulnérabilités moyennes.
Yellowhead	Quatre-vingts pour cent des éléments de vulnérabilité élevée avaient trait à des événements de PHICD. Les autres facteurs de vulnérabilité incluaient : <ul style="list-style-type: none"> • les vulnérabilités des structures des ponts aux températures élevées; • la vulnérabilité aux effets du gel et au dégel lors de l'entretien hivernal; • les vulnérabilités aux effets des crues nivales des systèmes de ponceaux.
Bella Coola	Les vulnérabilités élevées étaient liées aux effets des conditions des crues nivales sur les ouvrages de protection et les culéescaissons des ponts. Dans la catégorie des vulnérabilités moyennes, 27 % étaient liées à des événements relatifs aux PHICD. Les autres étaient liées à des événements relatifs aux crues nivales. Ces événements peuvent compromettre les ouvrages de protection et de stabilisation ainsi que les éléments de drainage d'une manière très similaire aux événements de PHICD.
Stewart	Mêmes résultats que l'évaluation de Bella Coola; 26 % des vulnérabilités étaient liées à des événements relatifs aux PHICD.
Pine Pass	Les vulnérabilités élevées étaient liées à l'impact des conditions relatives aux crues nivales et aux événements relatifs aux PHICD sur les ouvrages de protection et les culéescaissons des ponts, et sur les services publics de tiers. Parmi les vulnérabilités élevées, cinq étaient directement liées à des événements relatifs aux PHICD, tandis que les autres étaient associées à des conditions relatives aux crues nivales. Dans la catégorie de vulnérabilité moyenne, 53 % étaient liées à des événements relatifs aux PHICD. Les autres étaient associées à des événements relatifs aux crues nivales. Ces événements peuvent compromettre les ouvrages de protection et de stabilisation ainsi que les éléments de drainage d'une manière très similaire aux événements de PHICD.

Tous les cinq segments de route examinés présentaient également une vulnérabilité aux événements de débit de pointe provoqués par la fonte des neiges (conditions relatives aux crues nivales). Ces conditions ont généré des profils de risque très semblables à ceux associés aux précipitations extrêmes, avec un risque général accru de défaillance des appareils de drainage, des ponceaux et des ouvrages de stabilisation (ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014c). Ces vulnérabilités et les autres vulnérabilités potentielles recensées par les évaluations sont présentées dans le tableau 6.

4.3 PRATIQUES D'ADAPTATION

À la suite de ses études sur les vulnérabilités liées aux changements climatiques, le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique exige maintenant que les plans de conception d'infrastructure réalisés pour le Ministère tiennent compte des effets des changements climatiques. Cela comprend une fiche de critères de conception dans laquelle le concepteur indique les renseignements référentiels sur la conception adaptée au climat, tous les autres facteurs relatifs aux changements climatiques ainsi que la manière avec laquelle la conception tient compte de ces changements climatiques pour la durée de vie de l'infrastructure. La Colombie-Britannique est l'une des premières administrations gouvernementales à exiger des mesures particulières d'adaptation aux changements climatiques à inclure dans les plans de conception d'infrastructure.

Le ministère des Transports et de l'Infrastructure fournit également des outils qui permettent d'atténuer les risques en matière de sécurité pour les usagers de la route posés par des conditions météorologiques extrêmes. Son programme DriveBC vise à améliorer la sécurité routière en fournissant de meilleurs renseignements en temps réel concernant les routes provinciales sur les conditions météorologiques extrêmes, les travaux routiers et les fermetures. Depuis le lancement du programme en 2005, l'outil DriveBC est l'outil en ligne le plus populaire du Ministère (ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2015).

5.0 TRANSPORT FERROVIAIRE

5.1 EFFETS CLIMATIQUES HISTORIQUES

Les mauvaises conditions météorologiques qui affectent les services de transport ferroviaire de marchandises en Colombie-Britannique peuvent affecter le transport de marchandises de manière considérable au Canada et possiblement le commerce international. L'industrie ferroviaire en Colombie-Britannique possède une vaste expérience en matière de gestion des effets des conditions climatiques sur ses opérations. Un examen des rapports du Bureau de la sécurité des transports (BST) révèle une tendance en cours et en évolution d'incidents ferroviaires associés à des événements climatiques, en particulier les événements de précipitations abondantes dans les corridors de transport de la Colombie-Britannique. Le système ferroviaire de la Colombie-Britannique a connu des incidents liés à des précipitations extrêmes, aux eaux de ruissellement printanier et au drainage. Ces événements peuvent fragiliser les voies ferrées et sont des facteurs importants contribuant à la boue et aux éboulements qui affectent les réseaux et le matériel ferroviaires. Les trois incidents dûs à des conditions météorologiques associées à divers degrés à des dommages causés à l'infrastructure, à des répercussions environnementales et à des blessures aux cheminots que nous présentons dans les prochains paragraphes pourraient servir de fondement pour évaluer la capacité des changements climatiques à exacerber les conditions qui, historiquement, ont causé des interruptions des services ferroviaires. Les trois incidents découlent de problèmes de précipitation et de drainage.

Conrad – mars 1997

Le 26 mars 1997, une grande dépression dans la plateforme a fait dérailler un train du Canadien National (CN) près de Conrad, en Colombie-Britannique. L'ingénieur en chef de train et le mécanicien de la locomotive du CN ont été blessés mortellement, quatorze wagons de marchandises et deux locomotives ont été détruits, et plus de 1 200 pieds de voie principale et de voie d'évitement ont été détruits (figure 13). Le carburant qui fuyait s'est enflammé et a causé un incendie difficile à combattre qui a nécessité un arrosage par hélicoptère afin d'être maîtrisé.

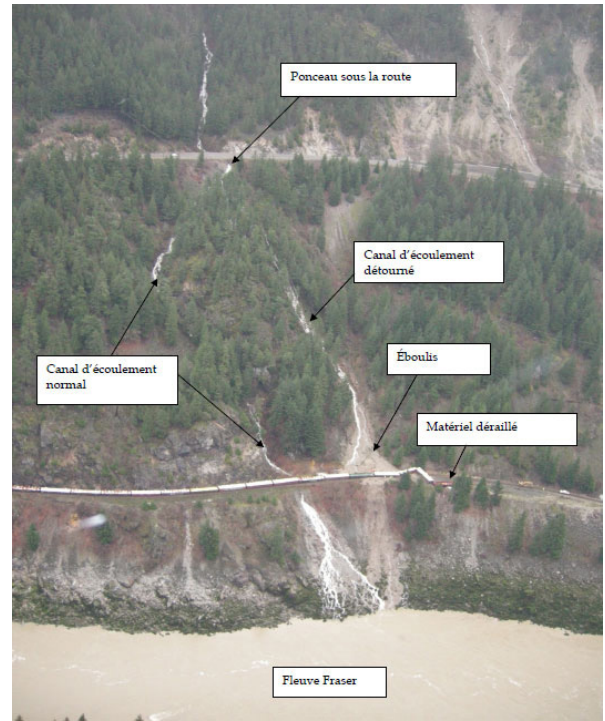
Le rapport d'enquête pour cet incident fournit de nombreux détails sur les conditions météorologiques avant l'incident qui ont provoqué ce déraillement (Bureau de la sécurité des transports du Canada, 1998). Il ressort des principaux points de l'analyse que la période d'octobre 1996 à mars 1997 a été la période de six mois la plus humide dans les 59 dernières années. Le 26 mars 1997, il s'agissait du 41^e jour de ruissellement dû à la fonte des neiges dans la région. Cependant, la vitesse de la fonte de neige a augmenté soudainement entre les 17 et 19 mars en raison des averses de pluie sur la neige. Le rapport conclut que la dépression a été causée par les éléments suivants :

1. le volume élevé d'eau de ruissellement au-dessus de la route transcanadienne adjacente n'a pas été capté par le système de drainage;
2. l'eau a pénétré dans le sol, a migré à travers les remblais de la route et s'est infiltrée dans la plateforme de la voie ferrée, entraînant sa déstabilisation qui a causé l'affaissement.

Figure 13 : Déraillement de train à Conrad, en Colombie-Britannique. L'affaissement du remblai a été causé par un événement de précipitation extrême. (Source : Bureau de la sécurité des transports du Canada)



Figure 14 : Déraillement de train à Komo, en Colombie-Britannique, causé par un éboulis sur la voie ferrée. (Source : Bureau de la sécurité des transports du Canada)



Komo – novembre 2009

Le 17 novembre 2009, un train de marchandises du Canadien Pacifique (CP) roulait vers l'ouest entre Boston Bar et Vancouver, quand il a heurté un éboulis de roches, de boue et d'arbres. La locomotive et trois wagons chargés de concentrés de cuivre ont déraillé (figure 14). L'ingénieur en chef du train et le mécanicien ont subi des blessures qui ne laissaient pas craindre pour leur vie. Au moment de l'incident, de très grandes quantités de pluie s'abattaient sur la région causées par un phénomène de flux atmosphérique.

L'éboulis est survenu au cours d'une période de fortes pluies (Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2010). De grandes quantités d'eau ont transité par un ponceau routier au-dessus de la voie. Bien que le ponceau ait eu une capacité suffisante pour gérer le volume de l'eau, les mesures de détournement en aval du ponceau n'ont pu contenir l'importante quantité d'eau de débordement qui a alors formé sa propre voie qui a affecté la voie ferrée à un endroit où il n'y avait pas de ponceaux. La nouvelle voie de drainage a causé la chute de débris, de roches et de boue sur la voie inférieure.

Fernie – mars 2011

Le 8 mars 2011, 27 wagons chargés de charbon ont déraillé près de Fernie, en Colombie-Britannique. Personne n'a été blessé.

Le BST a attribué le déraillement à un renversement du rail, causé par un surécartement excessif (Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2012). L'inclinaison vers l'extérieur du rail haut est due à l'accumulation de glace entre le patin du rail et les semelles (figure 15). Au cours des quatre semaines précédentes, de nombreuses périodes de gel et de dégel ont été observées dans la région, et l'effet de pompage créé par les trains aspirait de l'eau de fonte qui s'accumulait à l'intérieur du rail. Le rapport du BST note également qu'entre les 11 et 20 février, la température ambiante était au-dessus de 0 °C le jour et sous le point de congélation la nuit. Il y a aussi eu des précipitations sous forme de pluie totalisant environ 23 millimètres entre les 11 et 14 février, suivies d'accumulations de neige d'environ 58 centimètres entre les 15 et 17 février. Après le 17 février et pour le reste du mois, la température est demeurée sous le point de congélation et est descendue à une température aussi froide que -32 °C. Bien que cet incident ait été attribué au gel et au dégel, la cause principale est attribuable à la grande quantité de neige, qui a contribué à l'accumulation de glace et de neige à la base des rails. Ce phénomène, combiné aux périodes de variation de la température inférieure et supérieure au point de congélation, a contribué au déraillement.

Il existe de nombreux autres exemples d'incidents qui démontrent la vulnérabilité du transport ferroviaire de la Colombie-Britannique aux précipitations extrêmes. Des résumés de haut niveau des dix autres incidents semblables survenus entre 1995 et 2009 sont présentés dans le tableau 8.

Figure 15 : Portion de la voie ferrée à Fernie, en Colombie-Britannique, montrant l'accumulation de glace. (Source : Bureau de la sécurité des transports du Canada)



Tableau 8 : Résumé d'incidents ferroviaires en Colombie-Britannique liés aux conditions climatiques (de 1995 à 2009).

Date	Location	Description	Référence
Janv. 1995	Procter	<ul style="list-style-type: none"> Un train de marchandises du CP entre en collision avec un rocher tombé sur la voie près de Procter. Trois locomotives et deux wagons ont déraillé et ont fait une chute de 125 pieds dans le lac Kootenay. Deux personnes sont décédées par noyade. Du soufre et du carburant diesel se sont déversés dans le lac. Accident dû à la pression exercée par des racines d'arbre, à des périodes de gel et de dégel et à l'écoulement de surface. 	Rapport du BST n° R95V0017 Procter – 20 janv. 1995
Mai 1998	Creston	<ul style="list-style-type: none"> Une dépression dans la plateforme a fait dérailler trois wagons et huit wagonstombereaux d'un train de marchandises du CP. Des concentrés d'argent et de plomb et du carburant diesel se sont échappés, et ont été récupérés par la suite. Accident attribué à la pluviosité record, au rendement du système de drainage, au talus abrupt et au fait que le matériel de remblayage de la plateforme était très susceptible d'être affaibli par l'eau. 	Rapport du BST n° R98V0100 Creston – 31 mai 1998
Nov. 2004	Ruby Creek	<ul style="list-style-type: none"> Un train du CN heurte un éboulis de roche. Le réservoir de carburant de la locomotive s'est perforé et du carburant s'est déversé dans le fleuve Fraser. 	Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009 Annexe A
Déc. 2004	Glen Valley	<ul style="list-style-type: none"> Un train du CN entre en collision avec une coulée de boue. Huit wagons ont déraillé. 	Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009 Annexe A
Août 2005	Lasha	<ul style="list-style-type: none"> Un train du CN entre en collision avec un glissement de terrain. Neuf wagons ont déraillé. 	Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009 Annexe A
Oct. 2005	Yale	<ul style="list-style-type: none"> Un train de marchandises du CN entre en collision avec un glissement de terrain. Deux locomotives et sept wagons plats ont déraillé. La locomotive a déversé du carburant dans le fleuve Fraser. Un membre de l'équipe a été blessé et a été transporté à l'hôpital. 	Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009 Annexe A
Janv. 2006	Albion	<ul style="list-style-type: none"> Deux locomotives du CP ont déraillé en position debout en raison d'un glissement de terrain. 	Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009 Annexe A
Janv. 2007	Lasha	<ul style="list-style-type: none"> Un train du CN a heurté un glissement de terrain causant le déraillement de deux locomotives et du premier wagon. 	Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009 Annexe A
Janv. 2007	Inkitsaph	<ul style="list-style-type: none"> La locomotive d'un train du CN a déraillé après avoir heurté un glissement de terrain. 	Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009 Annexe A
Juil. 2008	Lasha	<ul style="list-style-type: none"> Quatre wagons chargés d'éthylèneglycol ont déraillé après avoir heurté une coulée de boue. 	Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009 Annexe A

5.2 RISQUES CLIMATIQUES FUTURS

Comme les corridors ferroviaires en Colombie-Britannique longent le réseau routier de très près, partageant des corridors de transport dans les cols de montagne et des voies le long des rivières, il n'est pas rare qu'une défaillance du mécanisme de drainage d'un système ait une incidence négative sur l'autre. Dans plusieurs des études de cas examinés précédemment, les défaillances d'éléments du système routier ont entraîné des glissements de terrain sur le système ferroviaire. Par conséquent, les événements météorologiques violents qui affectent négativement un système peuvent avoir des répercussions simultanées sur les autres.

Selon les travaux effectués par le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique en matière de changements climatiques, dans ces mêmes corridors, les routes continueront d'être affectées par des événements de précipitations intenses entraînant des défaillances des éléments de drainage et une instabilité du talus, et que ces événements devraient augmenter en fréquence et en intensité à l'avenir. Compte tenu de la proximité entre les réseaux routier et ferroviaire en Colombie-Britannique et de l'historique de défaillances séquentielles et coïncidentes de ces derniers, il est raisonnable de prévoir des modèles de vulnérabilité semblable pour le système ferroviaire.

5.3 PRATIQUES D'ADAPTATION

Malgré l'absence de références précises dans la littérature à des compagnies de chemin de fer qui effectuent des évaluations des changements climatiques et mettent en place des pratiques d'adaptation en Colombie-Britannique, on observe que les compagnies de chemin de fer en Colombie-Britannique déploient des efforts considérables pour lutter contre les effets des événements climatiques sévères, y compris les précipitations extrêmes. Les recommandations qui découlent de ces enquêtes et les activités de suivi sont très semblables à celles qui peuvent découler d'une analyse ciblée de l'évaluation des changements climatiques. Les analyses scientifiques réalisées dans le cadre du processus d'enquête du BST constituent une contribution essentielle à l'évaluation de l'adaptation aux changements climatiques, comme les travaux menés par le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique pour le réseau routier de la province. Des exemples de mesures sont présentés au tableau 9.

Tableau 9 : Exemple de mesures correctives dans les rapports du BST.

Date	Lieu	Mesures correctives	Référence
Janv. 1995	Procter	CP <ul style="list-style-type: none"> Des instructions ont été fournies aux employés sur l'inspection de base des talus rocheux, les principes de la stabilité des talus rocheux, et les méthodes relatives à la stabilisation et à la protection. Inspections annuelles approfondies des talus rocheux. Mise en œuvre d'inspections aériennes pour évaluer les caractéristiques du talus rocheux à des altitudes plus élevées. Mise en place d'une procédure d'évaluation et de consignation d'un large éventail de mesures d'atténuation relatives à l'instabilité des talus rocheux. 	Rapport du BST no R95V0017 Procter – 20 janv. 1995

Date	Lieu	Mesures correctives	Référence
Mars 1997	Conrad	<p>CN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construction de systèmes de drainage de surface additionnels à Conrad, installation d'un prototype de détecteur d'affouillement. • Utilisation de photographies aériennes pour recenser les endroits du corridor ThompsonFraser semblables à Conrad du point de vue géologique; inspection de ces sites et améliorations apportées au système de drainage. • Réalisation d'inspections géotechniques du sous-sol à certains endroits sélectionnés et installation d'instruments (piézomètres pneumatiques) pour mesurer les pressions d'eau souterraine. • Élaboration d'une procédure de surveillance et de contrôle des talus afin de permettre de signaler tous les incidents ayant traités aux éboulements et aux glissements de terrain au service géotechnique et de prendre des mesures correctives ou de compiler les données pour évaluer la stabilité à long terme des talus en terre. 	<p>Rapport du BST n° R97V0063 Conrad – 26 mars 1997</p>
Mai 1998	Creston	<p>CP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fourniture d'une formation sur la stabilité des talus en roche et en terre aux superviseurs de l'entretien de la voie. • Lancement d'une nouvelle politique d'inspection des ponceaux exigeant que ces dernières soient effectuées tous les ans. • Entente de services de Veille météorologique mondiale pour la mise en place d'un système d'avertissement fournissant des prévisions météorologiques détaillées et précises et des avertissements sur les conditions météorologiques sévères qui tiennent compte des points milliaires et de la position des gares. • Instructions aux inspecteurs de la sécurité ferroviaire de concentrer leurs efforts sur les questions de drainage et d'examiner les pratiques d'entretien de la voie dans les territoires sujets à l'instabilité des talus. 	<p>Rapport du BST n° R98V0100 Creston – 31 mai 1998</p>
Nov. 2009	Komo	<p>CN et CP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surveillance du corridor du canyon du Fraser et inspection régulière par des ingénieurs géotechniques et des géoscientifiques. • Recherches entreprises pour améliorer les détections d'éboulements et de glissements de terrain. <p>CN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Installation d'un système d'urgence de détection des pentes instables et des affouillements dans la région de Komo. • Mise en place d'un protocole exigeant que les superviseurs locaux communiquent avec le CN et le CP lors d'événements de pluie, de périodes de ruissellement exceptionnel et d'autres systèmes météorologiques potentiellement dommageables et informent les personnes-ressources des compagnies de chemin de fer en cas de problèmes. 	<p>Rapport du BST n° R09V0235 Komo – 17 nov. 2009</p>
Mars 2011	Fernie	<p>CP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des semelles laminées ont été installées et de nouveaux rails ont été posés où s'est produit le déraillement. • Le panneau de vitesse de 30 mi/h a été déplacé pour faire en sorte que les trains terminent leur freinage avant de négocier cette courbe, diminuant ainsi les forces latérales dans la courbe. <p>BST</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mise en place d'une fréquence minimale pour les inspections électroniques de l'état géométrique de toutes les voies. 	<p>Rapport du BST n° R11V0057 Fernie – 8 mars 2011</p>

Beaucoup de ces exemples de mesures correctives correspondent au type de recommandations qui découlent des évaluations ciblées des vulnérabilités. Les mesures portent sur un large éventail d'activités de recherche, de surveillance, de procédure, d'entretien, d'établissement de rapports et d'ingénierie. De cela, nous pouvons conclure que les compagnies de chemin de fer en Colombie-Britannique mènent des activités visant à réduire les risques climatiques (voir l'encadré). Le BST et les compagnies de chemin de fer extrapolent à partir des analyses scientifiques des défaillances dues au climat afin de mettre en place des mesures et des approches généralisées visant à réduire le risque lié à ce genre d'événements sur l'ensemble du système ferroviaire en général.

L'APPROCHE DE L'INDUSTRIE FERROVIAIRE À L'ÉGARD DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MICHAEL GULLO, ASSOCIATION DES CHEMINS DE FER DU CANADA, COMMUNICATION PERSONNELLE, 2015)

Les investissements en capital dans le réseau ferroviaire visent à aborder diverses questions et divers défis, y compris la façon dont les événements météorologiques extrêmes tels que les inondations soudaines, les avalanches, les affouillements et le gel peuvent causer des interruptions de service dans le réseau ferroviaire et en périphérie. Pour assurer le mouvement efficace du trafic, les compagnies de chemin de fer investissent de façon importante dans l'amélioration de l'infrastructure des voies ferrées, exécutent des plans de préparation saisonniers, mettent à l'essai des systèmes d'avertissement de risques naturels, procèdent à des inspections régulières de la voie ferrée, et veillent à ce que des processus soient en place pour atténuer les effets des conditions météorologiques violentes et s'en rétablir. Diverses technologies sont utilisées pour déterminer l'état de l'infrastructure ferroviaire et du paysage qu'elle traverse, y compris les technologies suivantes :

- détecteurs interférométriques radar pour mesurer la stabilité de la voie;
- évaluation de la vulnérabilité de la région à risque et cartographie du SIG;
- cartographie des glissements de terrain; temporelle et spatiale;
- évaluation géotechnique des talus;
- système de détection de mouvement par laser;
- détection de mouvement des talus par fibre optique;
- études hydrauliques des rivières;
- évaluation et gestion des barrages de castor.

En ce qui a trait à la planification et aux opérations, l'industrie ferroviaire utilise généralement des prévisions et des considérations météorologiques à court terme plutôt que des projections climatiques à long terme. Les compagnies de chemin de fer sont préoccupées par les changements climatiques en raison de la possibilité que les événements météorologiques violents deviennent plus fréquents et/ou plus intenses et posent ainsi des risques considérables au réseau ferroviaire et à ses opérations. L'Association des chemins de fer du Canada et la American Association of Railroads ont tous deux établi des comités environnementaux dont les mandats abordent tous deux les événements météorologiques extrêmes et défavorables.

Comme dans le cas des autres modes de transport, le secteur ferroviaire nécessite une approche scientifique fondée sur des faits pour l'aider à déterminer à quels endroits sont attendus les effets des changements climatiques à court, moyen et long terme. Grâce à ces connaissances, les efforts d'adaptation dans l'industrie peuvent être ciblés et plus stratégiques au bout du compte.

6.0 TRANSPORT AÉRIEN

6.1 EFFETS CLIMATIQUES HISTORIQUES

Le climat affecte les systèmes de transport aérien de nombreuses façons, notamment : 1) les accidents dus aux conditions météorologiques; 2) les interruptions de service dues aux conditions météorologiques; et, 3) les répercussions sur les systèmes d'infrastructure physique.

Accidents dus aux conditions climatiques

L'industrie du transport aérien possède une vaste expérience de la gestion et de l'adaptation en matière de conditions climatiques, et a mis en place des procédures normalisées pour accéder aux prévisions météorologiques et les incorporer dans la planification des vols (Klock and Mullock, 2001). Les répercussions des événements météorologiques violents sont normalement gérées au moyen de pratiques d'évitement, ce qui entraîne des retards de vol, et de l'avancement technologique, qui intègre des systèmes de pointe d'instruments de bord. Il en résulte une très faible fréquence d'accidents dus aux conditions météorologiques.

En Colombie-Britannique, seulement sept incidents d'aviation auxquels les conditions météorologiques ont contribué au cours des treize dernières années ont été d'une ampleur suffisante pour justifier une enquête du BST (tableau 10).

Tableau 10 : Sommaire des incidents d'aviation dus aux conditions météorologiques.

Date	Incident	Facteurs météorologiques à l'œuvre
6 juin 2002	Collision avec le relief à Needle Peak en C. B. (Bureau de la sécurité des transports, 2003)	Conditions météorologiques défavorables en région montagneuse
19 janv. 2005	Contrôle entravé en raison du givrage de cellule à Kelowna en C. B. (Bureau de la sécurité des transports, 2005)	Conditions de givrage importantes en vol
8 mars 2006	Sortie de piste—collision avec le relief à Powell River en C. B. (Bureau de la sécurité des transports, 2007)	Vent arrière à l'approche; aquaplanage
7 févr. 2008	Perte de référence visuelle et collision avec le relief à Golden en C. B. (Bureau de la sécurité des transports, 2008)	Mauvaise visibilité
17 mars 2012	Sortie de piste à Blue River, en C. B. (Bureau de la sécurité des transports, 2013c)	Les conditions météorologiques se détérioraient
1er juin 2012	Perte de référence visuelle et collision avec le relief à Terrace en C. B. (Bureau de la sécurité des transports, 2013b)	Mauvaise visibilité
13 août 2012	Collision avec le relief à Kelowna en C. B. (Bureau de la sécurité des transports, 2013a)	Conditions d'altitude densité élevée et visibilité réduite.

Les rapports du BST démontrent que, historiquement, les conditions météorologiques sont rarement la seule cause des incidents d'aviation. Ce sont plutôt les conditions météorologiques et une erreur de pilotage qui se combinent pour provoquer l'incident. En outre, la relative rareté des incidents d'aviation dus aux conditions climatiques indique que l'industrie de l'aviation possède des stratégies de gestion et de développement technologique efficaces et continues pour prendre en charge les conditions météorologiques violentes, et les vols seront reportés lorsque les conditions ne sont pas sécuritaires.

Interruptions de service dues aux conditions météorologiques

Les annulations et les retards dus aux conditions météorologiques dans les services de transport aérien peuvent être très perturbants pour les personnes et l'économie canadienne, car ils peuvent avoir un effet d'entraînement dans l'ensemble du réseau aéroportuaire national. Les causes incluent les orages, le brouillard, la neige et la glace. Dans les régions montagneuses de la Colombie-Britannique continentale, les situations de brouillard et de visibilité provoquées par les conditions météorologiques peuvent s'avérer problématiques. Les variations dans le relief peuvent entraîner des conditions météorologiques très variées. Par exemple, l'aéroport régional de West Kootenay à Castlegar connaît de fréquents retards de vol en raison des plafonds bas et des montagnes environnantes, tandis que l'aéroport régional de Trail, situé à environ 40 km au sud de Castlegar, offre une plus grande fiabilité relativement à son horaire de vol en raison des meilleures conditions météorologiques qui prévalent. Les technologies de navigation peuvent jouer un rôle important dans la réduction du nombre de retards dus aux conditions météorologiques. Par exemple, l'aéroport régional Northwest à Terrace, dans les montagnes côtières, connaît souvent des conditions météorologiques très semblables à celles de l'aéroport régional de West Kootenay, mais compte beaucoup moins d'annulations dues aux conditions météorologiques. Cela peut être attribué aux systèmes d'atterrissage et aux instruments (ILS) employés à l'aéroport de Terrace qui ne sont pas installés à West Kootenay. Il peut en coûter bien au-delà de 1 million de dollars pour installer ces systèmes, souvent considérés comme non rentables pour les petits aéroports.

Parmi les changements dans les paramètres qui peuvent affecter les opérations aéroportuaires et qui peuvent entraîner des retards et des annulations de vols, on compte les conditions météorologiques extrêmes, les ondes de tempête et l'élévation du niveau de la mer au fil du temps. Heureusement, les aéroports en Colombie-Britannique peuvent gérer la plupart des tempêtes de neige, éprouvant à l'occasion des retards de service. Le fait de posséder l'équipement de déneigement et le personnel appropriés peut aider à gérer ce type d'événement.

Les problèmes de visibilité sont plus problématiques. Alors que l'aéroport international de Vancouver est doté d'un ILS avancé (permettant l'atterrissage et le décollage dans des conditions de visibilité aussi faibles que 600 pieds), ce ne sont pas tous les aéroports en Colombie-Britannique qui sont équipés d'un ILS. Même si d'autres options de gestion telles que la qualité de navigation requise sont disponibles, elles requièrent souvent une coopération continue entre les aéroports régionaux et les transporteurs aériens. L'approche principale aux problèmes de visibilité est l'annulation de vols ou le détournement vers d'autres aéroports. Ces solutions peuvent causer des inconvénients aux passagers et, à long terme, compromettre la croissance régionale.

Répercussions sur les systèmes d'infrastructure physique

Les aéroports côtiers peuvent être exposés aux risques liés aux ondes de tempête et à l'élévation du niveau de la mer (voir l'encadré). Par exemple, en raison de sa faible élévation, l'infrastructure physique de l'aéroport international de Vancouver peut être affectée par des ondes de tempête et par l'élévation du niveau de la mer au fil du temps. Cet aéroport est une importante plaque tournante régionale, nationale et internationale, et l'interruption de service pourrait avoir des répercussions de grande envergure sur la fiabilité du transport aérien en Colombie-Britannique et ailleurs. L'aéroport est situé sur l'île de Sea Island, près du niveau de la mer, et également dans la plaine inondable de la rivière Fraser, où il existe un potentiel d'inondation à la suite de précipitations abondantes qui affectent le débit des rivières, en plus des ondes de tempête formées dans l'océan Pacifique et des conditions changeantes occasionnées par l'élévation du niveau de la mer. Un système de digue, d'environ 15 km de long, protège actuellement Sea Island. L'administration aéroportuaire a recouru à un programme permanent pour gérer les digues et évaluer régulièrement les risques d'inondation, et travaille en collaboration avec les gouvernements fédéral et provinciaux ainsi que les administrations locales pour définir les élévations de digues appropriées (Marion Town, Administration de l'aéroport de Vancouver, communication personnelle, 2015). Parmi les autres mesures pertinentes adoptées par l'aéroport de Vancouver, on compte des pistes orientées pour s'assurer d'offrir une piste face au vent dans presque toutes les conditions de vent, des investissements dans des mesures de contrôle de la neige et de la glace sur la chaussée ainsi que de dégivrage pour que les aéronefs puissent fonctionner en toute sécurité dans de très mauvaises conditions météorologiques.

AÉROPORT DE SANDSPIT

L'infrastructure et les opérations de transport à l'aéroport de Sandspit, à Haida Gwaii, sont vulnérables aux tempêtes hivernales et aux ondes de tempête connexes qui pourraient augmenter et présenter des problèmes connexes en raison de l'élévation du niveau de la mer au fil du temps. La piste traverse la flèche littorale, et les tempêtes hivernales importantes et fréquentes ont causé de lourds dommages dus aux vagues au perré, une structure en pente formée de pierres ou d'une autre matière, qui protège le rivage. Les débordements du barrage sont devenus plus fréquents au cours des dernières années alors que des réparations doivent être effectuées sur une base annuelle en raison des dommages, y compris des débris marins et du bois de grève sur la piste et des dommages aux feux de balisage et à la chaussée (figure 16). L'aéroport est également situé à l'intérieur de la voie migratoire du Pacifique, un itinéraire emprunté par les oiseaux migrateurs. Les exploitants d'aéroports ont observé des changements au cours de la dernière décennie chez les oiseaux migrateurs et résidents qui affectent également la gestion de l'aéroport.

À la lumière de ces changements, l'aéroport doit adapter ses activités en permanence pour assurer une sécurité permanente. La vulnérabilité de l'aéroport de Sandspit devrait faire l'objet d'une évaluation plus poussée, ainsi que de nouvelles approches et pratiques de gestion, car la fréquence et l'ampleur des ondes de tempête vont augmenter en raison de l'élévation du niveau de la mer.

Rédigé avec la collaboration du personnel de Transports Canada, Bureau de la région du Pacifique

Figure 16 : La piste de Sandspit en décembre 2011. L'extrémité de la piste a été soumise à d'importants débordements de vagues pendant une violente tempête, alors que le niveau de la mer s'est élevé à environ un mètre au-dessus de la piste. Une section de 250 m du perré endommagé a dû être refaite.



6.2 RISQUES CLIMATIQUES FUTURS

Bien que la visibilité soit une préoccupation constante pour les aéroports de la Colombie-Britannique, il est actuellement difficile de savoir comment les changements climatiques auront une incidence sur la situation. Dans ses évaluations de la vulnérabilité des routes, le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique mentionne que les modèles climatiques actuels ne permettent pas de prévoir les changements dans les conditions de visibilité dans le relief complexe des montagnes intérieures de la Colombie-Britannique. Le Pacific Climate Impacts Consortium a déterminé que ce problème devait faire l'objet d'études supplémentaires pour aborder spécifiquement les risques relatifs au transport dans la région de l'intérieur de la Colombie-Britannique.

Des hivers plus chauds et humides dans le futur pourraient signifier une baisse dans les retards de vol dus à la neige. Cependant, les projections des changements dans la fréquence et l'intensité des chutes de neige durant une saison hivernale plus courte restent incertaines. Il s'agit d'un autre domaine où la réalisation de travaux de modélisation supplémentaires pour évaluer la nature, la forme, la fréquence et l'intensité des futures chutes de neige pour les grands aéroports de la Colombie-Britannique serait utile.

L'élévation du niveau de la mer et l'augmentation connexe des inondations dues aux ondes de tempête constituent une menace pour les opérations à l'aéroport international de Vancouver et l'aéroport de Sandspit (en plus des inondations fluviales à l'aéroport international de Vancouver). Dans le cadre des travaux de l'aéroport international de Vancouver pour soutenir le Plan directeur de l'aéroport 2057, l'administration aéroportuaire évalue les effets des changements climatiques sur les opérations aéroportuaires. L'objectif de ces travaux sera d'examiner et de mieux comprendre les effets des changements climatiques projetés propres à Sea Island. Les travaux approfondis devraient comprendre le recensement et la quantification des risques possibles associés aux effets des changements climatiques sur les opérations des aéroports. Les résultats de ces études donneront lieu à des plans d'adaptation à partir desquels toute amélioration d'infrastructure serait incorporée et financée au moyen du programme d'investissements de l'administration aéroportuaire.

6.3 PRATIQUES D'ADAPTATION

L'industrie aérienne gère les conditions météorologiques sur une base continue, ajustant ses pratiques à mesure que des changements dans les événements météorologiques sont observés. En ce sens, dans le cas de nombreux aéroports (avec des exceptions telles que l'aéroport international de Vancouver), l'adaptation a tendance à être essentiellement réactive plutôt que d'être mise en œuvre en prévision des changements futurs. Parallèlement, la technologie aéronautique évolue, ayant recours de plus en plus à des systèmes d'atterrissage aux instruments et à d'autres innovations permettant aux avions de voler en toute sécurité dans des conditions qui sont loin d'être idéales.

Bien qu'il existe très peu de renseignements relatifs à des études d'évaluation des risques liés aux changements climatiques pour le transport aérien en Colombie-Britannique, cela ne signifie pas que ces études ne sont pas en cours, car elles n'ont possiblement pas encore été publiées ou ne sont pas encore disponibles dans le domaine public. Par exemple, un engagement a été pris visant à entreprendre une évaluation des risques liés aux changements climatiques pour l'aéroport international de Vancouver qui se penche sur les risques d'élévation du niveau de la mer et sur les implications pour l'examen et le renouvellement continus des systèmes de digue.

7.0 TRANSPORT MARITIME

Les événements météorologiques qui touchent les systèmes de transport maritime de la Colombie-Britannique, comme province côtière et plaque tournante nationale majeure pour les passagers et les marchandises, peuvent avoir des répercussions provinciales et nationales importantes. À l'instar du transport aérien, les répercussions préoccupantes pour le transport maritime sont les suivantes :

1. les accidents dus aux conditions météorologiques;
2. les interruptions de service dues aux conditions météorologiques;
3. les répercussions sur les systèmes d'infrastructure physique.

7.1 EFFETS CLIMATIQUES HISTORIQUES

L'industrie du transport maritime possède une vaste expérience de la gestion et de l'adaptation en matière de conditions climatiques, et a mis en place des procédures normalisées pour accéder aux prévisions météorologiques et les incorporer dans la planification des déplacements. Par conséquent, les répercussions des mauvaises conditions météorologiques sont normalement gérées au moyen de pratiques d'évitement (qui entraînent des retards), et de l'avancement technologique qui intègre des systèmes de surveillance météorologique et de navigation à la fine pointe. Par exemple, Environnement et Changement climatique Canada exploite un vaste réseau de prévisions météorologiques régionales, de sites d'observation et de fréquences radio sur les conditions météorologiques marines pour la côte de la Colombie-Britannique (gouvernement du Canada, 2016). Le système fournit des renseignements météorologiques continus pour le secteur maritime ainsi que des avertissements d'intempéries qui pourraient affecter les systèmes de transport maritime. Pour ces raisons, les accidents maritimes dus aux conditions météorologiques sont relativement rares en Colombie-Britannique. Un examen limité des rapports du BST indique que les incidents maritimes dus aux conditions météorologiques impliquent de fortes composantes d'erreur humaine.

Les ports maritimes de la Colombie-Britannique doivent être capables de gérer des vents violents et des pluies abondantes, habituellement de manière simultanée. En 2014, 4 % des services de traversier en Colombie-Britannique ont été retardés en raison de la météo. Les vents violents sont une cause fréquente de retard de même que les pluies abondantes (British Columbia Ferry Services Inc., 2016). Bien que le pourcentage ne soit pas important, il s'agit néanmoins de 6 600 traversées qui sont perturbées annuellement par des conditions météorologiques. Les conditions météorologiques violentes peuvent non seulement entraîner des retards ou des annulations, mais peuvent également affecter les systèmes d'infrastructure physique. Par exemple, le 3 novembre 2015, des vents violents ont poussé le *Queen of Nanaimo* (un service de traversier entre l'île de Vancouver et le continent) hors de position, provoquant une collision avec un quai flottant privé et des dommages à ce dernier (CBC News, 2013). Cependant, à ce jour, les dommages causés aux systèmes d'infrastructure physique résultant d'incidents liés aux conditions météorologiques ont été relativement rares.

7.2 RISQUES CLIMATIQUES FUTURS

Même si le vent est un paramètre névralgique dans les activités de prévisions sur les changements climatiques, la prévision de la nature et l'intensité des épisodes de vent de courte durée sont techniquement difficiles, et les modèles ont de la difficulté à simuler les vents de surface (Ingénieurs Canada, 2008; Griffin et coll., 2010). Il n'a pas été possible de relever d'études particulières visant à évaluer les effets des changements dans l'intensité et la fréquence des vents violents sur les opérations du secteur maritime. Les pratiques actuelles qui utilisent un réseau hautement perfectionné d'installations de surveillance et de prévision des conditions météorologiques pourraient suffire pour parer aux risques futurs. Néanmoins, les changements climatiques pourraient occasionner l'augmentation des annulations et des retards, entraînant des répercussions économiques. Il s'agit d'un domaine pouvant faire l'objet d'études plus approfondies.

L'analyse préliminaire (voir la section 2.2) pointe vers une augmentation probable de la fréquence des événements de flux atmosphériques d'ici la période 2041-2070, alors que les plus fortes hausses seront observées sur la côte. Le nombre moyen de jours de flux atmosphériques par an devrait approximativement doubler dans la plupart des endroits, y compris sur le continent. Il n'a pas été possible de relever d'études propres au secteur maritime ou des activités d'évaluation des effets des changements dans l'intensité et la fréquence des précipitations sur les opérations du secteur maritime en Colombie-Britannique.

Des études sont en cours pour examiner les scénarios d'inondations dues à la fonte des neiges au printemps, d'ondes de tempête côtières, de fortes marées et d'inondation dues à l'élévation du niveau de la mer dans les régions autour de la rivière Fraser, où sont situées un certain nombre

d'installations portuaires. Ces études sont en cours d'élaboration dans le cadre de la stratégie de gestion des inondations dans le Lower Mainland à laquelle participe un certain nombre d'entités, y compris les administrations municipales et le gouvernement provincial, le Conseil du bassin du Fraser et d'autres organisations comme le Port Metro Vancouver (Kerr Wood Leidal, 2015). Dans le cadre de cette stratégie, le Conseil du bassin du Fraser propose d'examiner la vulnérabilité aux inondations des infrastructures clés, tels que les ports, les voies ferrées, les aéroports, les autoroutes, les axes routiers importants ou d'urgence de même que les postes électriques de BC Hydro.

Antérieurement, la province réalisait des études pour évaluer les répercussions des inondations dues à l'élévation du niveau de la mer et aux changements climatiques sur le fleuve Fraser (Fraser Basin Council, 2014), et émettait également des lignes directrices pour la gestion de l'utilisation des terres à risque d'inondation côtière, et des digues de mer (Ausen Sandwell, 2011). De plus, les ingénieurs et les géoscientifiques de la Colombie-Britannique ont publié des lignes directrices pour la pratique professionnelle concernant les évaluations des inondations dans le contexte des changements climatiques (Association of Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia, 2012). Le ministère des Forêts, des Territoires et des Opérations de ressources naturelles fournit des cartes des risques d'inondation côtière qui indiquent les répercussions de l'élévation du niveau de la mer sur l'ensemble du littoral de la province pour l'année 2100 (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2016b). Les cartes indiquent clairement que d'ici 2100, la région près du port de Vancouver sera une région à risque élevé d'inondation, présentant des risques pour les infrastructures portuaires qui pourraient perturber la circulation de marchandises et les services dans et hors de la région du corridor sud de la porte d'entrée du Pacifique.

7.3 PRATIQUES D'ADAPTATION

Le vaste réseau de stations de surveillance et de services de prévisions météorologiques pour le secteur maritime en Colombie-Britannique représente une réponse primaire à l'atténuation des risques climatiques. Le secteur ajuste ses pratiques pour gérer les intempéries, et pourrait bénéficier de l'ajustement des pratiques afin de tenir compte des changements climatiques à venir. Les risques à long terme pour les infrastructures côtières, y compris les ports, associés à l'élévation du niveau de la mer sont reconnus par le gouvernement provincial. Ce dernier a mis en place un plan d'action concret qui comprend la surveillance et des exigences précises pour l'entretien et l'amélioration des digues de mer.

8.0 PRATIQUES PROVINCIALES D'ADAPTATION AU CLIMAT

Le gouvernement de la Colombie-Britannique tente de mieux préparer la province à l'adaptation aux changements climatiques. Ces efforts comprennent un plan intitulé *Preparing for Climate Change: British Columbia's Adaptation Strategy* (Plan de préparation aux changements climatiques : Stratégie d'adaptation de la Colombie-Britannique) pour l'ensemble de la province, dont les objectifs sont d'établir une base de connaissances et d'outils, de tenir compte de l'adaptation dans le processus décisionnel du gouvernement, et d'évaluer les risques et de mettre en œuvre des mesures d'adaptation prioritaires dans les secteurs vulnérables au climat (ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, 2010).

D'un intérêt particulier pour le transport, le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique a élaboré un ensemble de pratiques exemplaires théoriques fondées sur les résultats de leurs évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques des réseaux routiers de la Colombie-Britannique (ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2014e). Ces meilleures pratiques conceptuelles sont généralement applicables à tous les systèmes d'infrastructure de transport, et sont regroupées en trois catégories principales : données, personnel et processus (voir l'encadré).

MINISTÈRE DES TRANSPORTS ET DE L'INFRASTRUCTURE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE – PRATIQUES D'ADAPTATION AU CLIMAT

Les pratiques exemplaires conceptuelles élaborées par le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique comprennent les pratiques particulières qui suivent. Pour consulter le document complet sur les pratiques exemplaires, veuillez ouvrir le lien suivant : http://www.th.gov.bc.ca/climate_action/documents/MoTI-Climate%20Adaptation_Best%20Practices.pdf

Données

- Tenir à jour les données météorologiques et climatiques
- Établir des programmes de surveillance
- Toujours tenir compte des effets des événements extrêmes de précipitations
- Tenir compte de la combinaison et de la séquence des événements
- Identifier les sources offrant des renseignements rigoureux sur les changements climatiques
- Veiller à ce que les projections soient basées sur un ensemble de résultats générés par différents modèles climatiques

Personnel

- Rechercher l'équilibre entre les méthodes informatiques et le jugement professionnel
- Recenser, surveiller et gérer les problématiques relatives aux changements climatiques
- Mettre en place des équipes multidisciplinaires d'examen sur les changements climatiques
- Collaborer avec des professionnels qualifiés en matière climatique et météorologique

Processus

- Fournir des outils et la formation appropriée en matière d'évaluation de la vulnérabilité
- Utiliser la gestion du risque pour aborder les incertitudes
- Intégrer les mesures d'adaptation aux changements climatiques dans les cycles de planification
- Rendre obligatoire la prise en considération des changements climatiques dans les activités courantes

9.0 LACUNES DANS LES RENSEIGNEMENTS ET LES CONNAISSANCES QUI NUISENT AU PROCESSUS DÉCISIONNEL

Selon la présente évaluation, les lacunes qui suivent dans les connaissances et les renseignements doivent être traitées de manière prioritaire afin de faire avancer le processus décisionnel lié à l'adaptation des systèmes de transport en Colombie-Britannique.

- **Événements extrêmes de précipitations.** Les événements extrêmes de précipitations sont la principale préoccupation liée au climat pour les systèmes de transport routier et ferroviaire en Colombie-Britannique. Des travaux sont en cours pour caractériser la nature, la fréquence et l'intensité futures de ces événements. La portée de ces travaux pourrait être élargie pour faire en sorte que les décideurs disposent des outils et des renseignements suffisants pour orienter la conception, l'exploitation et la tenue à jour du système pour les conditions météorologiques et climatiques extrêmes futures. De plus, il serait utile de réaliser d'autres travaux pour caractériser les conditions qui ont une incidence sur le transport maritime ainsi que pour prévoir la fréquence et l'intensité des événements de précipitations.
- **Répercussions de l'élévation du niveau de la mer sur les systèmes d'infrastructure côtière.** L'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête présentent des risques pour les infrastructures côtières de la Colombie-Britannique, notamment l'aéroport international de Vancouver, l'aéroport de Sandspit et le Port Metro Vancouver. La Colombie-Britannique possède un programme actif pour évaluer ces risques et orienter les décideurs relativement aux mesures d'adaptation à l'élévation du niveau de la mer. Les évaluations du risque continueront d'être un outil clé afin d'assurer que les propriétaires et les exploitants d'installations côtières essentielles en Colombie-Britannique possèdent l'information appropriée pour construire, modifier et entretenir les infrastructures qui sont adaptées à l'élévation du niveau de la mer.
- **Événements de vents marins.** Les vents violents peuvent occasionner l'annulation des départs et des retards dans le système de transport maritime. Les projections relatives aux changements dans la fréquence et l'intensité des événements de vents violents ne sont pas fiables. Des travaux supplémentaires dans ce domaine pourraient fournir aux décideurs une meilleure base pour planifier et mettre en œuvre des changements opérationnels pour l'adaptation aux changements dans la fréquence et l'intensité des événements de vents violents.
- **Problème de visibilité sur le continent.** La visibilité peut avoir des répercussions importantes sur les opérations routières et aéroportuaires en Colombie-Britannique continentale. Bien que ces problématiques soient prises en charge, les causes de la faible visibilité (brouillard) sur le continent, et les changements futurs probables dans les conditions qui ont conduit à ces événements en particulier, ne sont pas bien comprises. Des connaissances accrues sur ces répercussions météorologiques pourraient aider les décideurs à mettre en place de nouveaux systèmes et de nouvelles procédures d'adaptation aux changements prévus.

De manière générale, dans tous les modes de transport maritime en Colombie-Britannique, l'adaptation aux changements climatiques s'est faite de façon réactive, les problématiques ayant été abordées uniquement après que les répercussions eurent été observées. Cependant, pour certaines infrastructures, les récentes évaluations de la vulnérabilité se sont penchées sur les enjeux à long terme liés aux changements climatiques. Ces études sur les changements climatiques et leurs répercussions sur l'infrastructure permettront aux exploitants de mieux anticiper les problèmes, et favoriseront la mise en œuvre de mesures d'adaptation des installations, des actifs et des opérations aux risques posés par les changements climatiques. Compte tenu la contribution des secteurs ferroviaire, aérien et maritime aux économies provinciale et nationale, la réalisation d'autres évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques dans tous les modes de transport pourrait être bénéfique.

10.0 CONCLUSION

Le présent chapitre a démontré la vulnérabilité du système de transport de la Colombie-Britannique aux conditions météorologiques extrêmes et aux changements climatiques, présenté des pratiques pour réduire ces risques, et relevé les domaines pouvant nécessiter du travail supplémentaire. Le réseau de transport de la province est essentiel pour la circulation efficace des personnes et des marchandises par l'entremise des voies aérienne, maritime, ferroviaire et routière, à la fois à l'intérieur de la province et entre l'Amérique du Nord et l'Asie. Cependant, de nombreux corridors de transport en Colombie-Britannique, qui traversent des terrains montagneux et longent le littoral, sont vulnérables aux perturbations, et même aux défaillances dues aux événements climatiques.

Le chapitre permet également de constater que, de prime abord, les exploitants d'infrastructure en Colombie-Britannique réagissent aux problèmes plutôt que de les anticiper et de se préparer aux changements. Par conséquent, les incidences sur l'infrastructure pourraient être plus graves que si des mesures d'adaptation proactives et adaptatives étaient prises. Appuyées par des outils de collecte de données climatiques et météorologiques plus rigoureux et des directives efficaces en matière de modélisation et d'interprétation des données, les approches proactives (à savoir, des évaluations de la vulnérabilité, des exigences sur la conception de l'infrastructure) pourraient offrir aux décideurs du domaine du transport une base plus solide pour la prise de décisions adaptatives. Le partage d'études sur la vulnérabilité au climat entre les exploitants et les divers modes de transport pourrait permettre l'amélioration des connaissances et avantager le système de transport dans son ensemble.

Le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique a évalué la vulnérabilité aux changements climatiques de plusieurs routes de la province, et est l'une des premières administrations à exiger que les plans de conception de l'infrastructure routière pour le Ministère tiennent compte des conséquences des changements climatiques. C'est un indicateur important que les efforts d'adaptation dans le secteur des transports de la Colombie-Britannique progressent, tout en reconnaissant qu'il reste du travail à faire.

RÉFÉRENCES

- Administration de l'aéroport de Vancouver. (2014). *Vancouver Airport Authority 2014 annual report*.
- Alaskarails. (2015). *Canadian National's AquaTrain*. Repéré à <http://www.alaskarails.org/industries/aquatrain.html>
- Association of Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia (APEGBC). (2012). *Professional practice guidelines – Legislated flood assessments in a changing climate in BC*. Repéré à <https://www.apeg.bc.ca/For-Members/Professional-Practice/Professional-Practice-Guidelines>
- 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.
- Ausen Sandwell. (2011). *Climate change adaption guidelines for sea dikes and coastal flood hazard land use*. British Columbia Ministry of Environment, Project 14311. Repéré à http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/draft_policy_rev.pdf
- British Columbia Ferry Services Inc. (2015). *Traffic statistics system : Total vehicle and passengers counts by route for April 2015*. Repéré à http://www.bcferrys.com/files/AboutBCF/trafic_stats/April_2015_Traffic_Stats.pdf
- British Columbia Ferry Services Inc. (2016). *Is the ferry on time?* Repéré à http://www.bcferrys.com/current_conditions/On-Time.html
- British Columbia Ministry of Environment. (2010). *Preparing for climate change : British Columbia's adaptation strategy*. Repéré à www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/climate-change/policy-legislation-and-responses/adaptation/adaptation_strategy.pdf
- British Columbia Ministry of Environment. (2015). *Ecoregion classification system*. Repéré à <http://www.env.gov.bc.ca/ecology/ecoregions/province.html>
- British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure. (2014a). *B.C. on the move : A 10-year transportation plan*. Discussion guide and survey : Public engagement, 14 octobre-12 décembre, 2014. Repéré à <http://engage.gov.bc.ca/transportationplan/process/>
- British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure. (2014b). *Analysis report for the climate change engineering vulnerability assessment – Final report*. Northwest Hydraulic Consultants et Pacific Climate Impacts Consortium.
- British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure. (2014c). *Review and analysis of climate change vulnerability assessments of Canadian water management and drainage infrastructure*. Nodelcorp Consulting Inc. et Pacific Climate Impacts Consortium. Repéré à http://www.th.gov.bc.ca/climate_action/documents/hwy_Risk_Assessments_from_Climate_Changes_Review.pdf
- British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure. (2014d). *Climate change engineering vulnerability assessment of three British Columbia highway segments : Highway 20 in the Bella Coola region, Highway 37A in the Stewart region, Highway 97 in the Pine Pass region*. Nodelcorp Consulting Inc. Repéré à http://www.th.gov.bc.ca/climate_action/documents/hwy20_bella_coola-hwy37A_Stewart-hwy97_Pine%20Pass.pdf
- British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure. (2014e). *Considerations for addressing climate change for water handling infrastructure in highway management, design, operation and maintenance in British Columbia : Best practice document*. Nodelcorp Consulting Inc., et Pacific Climate Impacts Consortium.
- British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure. (2015). *DriveBC data now online and open for business*. Repéré à <https://news.gov.bc.ca/releases/2015TRAN0118-001511>
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (1996). *Rapport d'enquête sur accident ferroviaire. Déraillement. Canadien Pacifique Limitée. Point milliaire 111,0, subdivision Nelson, près de Procter (Colombie-Britannique)*. 20 janvier 1995. Rapport numéro R95V0017. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/1995/r95v0017/r95v0017.asp>
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (1998). *Rapport d'enquête sur accident ferroviaire. Déraillement. Canadien National. Train numéro Q-102-51-26. Point milliaire 106,15, subdivision Ashcroft, Conrad (Colombie-Britannique)*. 26 mars 1997. Rapport numéro R97V0063. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/1997/r97v0063/r97v0063.asp>
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2000). *Rapport d'enquête sur accident ferroviaire. Déraillement en voie principale. Chemin de fer Canadien Pacifique. Train de marchandises numéro 981-31. Point milliaire 59,1, subdivision Nelson, Creston (Colombie-Britannique)*. 31 mai 1998. Rapport numéro R98V0100. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/1998/r98v0100/r98v0100.asp>
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2003). *Rapport d'enquête aéronautique. Vol VFR dans des conditions météorologiques défavorables et collision avec le relief. Cessna 182R Skylane (C-GASB), Needle Peak (Colombie-Britannique)*. 6 juin 2002. Rapport numéro A02P0109. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/2002/a02p0109/a02p0109.asp>
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2005). *Rapport d'enquête aéronautique. Maîtrise difficile en vol en raison du givrage de la cellule. Beechcraft King Air 200 C-FCGL exploité par Northern Thunderbird Air Inc. 80 nm au nord-est de Kelowna (Colombie-Britannique)*. 19 janvier 2005. Rapport numéro A05P0018. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/2005/a05p0018/a05p0018.asp>

Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2007). *Rapport d'enquête aéronautique. Sortie en bout de piste et collision avec le relief. Piper PA-31-350 Chieftain C-GNAY exploité par Orca Airways Ltd. Powell River (Colombie-Britannique)*. 8 mars 2006. Rapport numéro A06P0036. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/2006/a06p0036/a06p0036.asp>

Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2008). *Rapport d'enquête aéronautique. Perte de référence visuelle et collision avec le relief. L'hélicoptère Bell 212 C-GERH exploité par Sequoia Helicopters Limited. 9 nm à l'ouest de Golden (Colombie-Britannique)*. 7 février 2008. Rapport numéro A08P0035. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/2008/a08p0035/a08p0035.asp>

Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2010). *Rapport d'enquête ferroviaire. Déraillement en voie principale. Canadien National. Train de marchandises numéro J31753-15. Point miliaire 7,9, subdivision Yale, Komo (Colombie-Britannique)*. 17 novembre 2009. Rapport numéro R09V0235. <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/2009/r09v0235/r09v0235.asp>

Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2012). *Rapport d'enquête ferroviaire. Déraillement en voie principale. Du train-bloc de charbon no 861-060 exploité par le chemin de fer Canadien Pacifique. Au point miliaire 30,0 de la subdivision Cranbrook à Fernie (Colombie-Britannique)*. 8 mars 2011. Rapport numéro R11V0057. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/2011/r11v0057/r11v0057.asp>

Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2013a). *Rapport d'enquête aéronautique. Collision avec le relief. Piper PA-30, Twin Comanche, C-GLGJ. 18 NM à l'ouest de Kelowna (Colombie-Britannique)*. 13 août 2012. Rapport numéro A12P0136. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/2012/a12p0136/a12p0136.asp>

Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2013b). *Rapport d'enquête aéronautique. Perte des repères visuels et collision avec le relief. Bailey Helicopters Ltd. Eurocopter AS350-B2 (Hélicoptère), C-FBHN. À 14 NM l'ouest de Terrace (Colombie-Britannique)*. 1 juin 2012. Rapport numéro A12P0079. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/2012/a12p0079/a12p0079.asp>

Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2013c). *Rapport d'enquête aéronautique. Sortie de piste. Northern Thunderbird Air Inc., Beechcraft 1900C, C-GCMZ. Blue River (Colombie-Britannique)*. 17 mars 2012. Rapport numéro A12P0034. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/2012/a12p0034/a12p0034.asp>

CBC News. (2013, November 3). *B.C. ferry crashes leaving Mayne Island : Queen of Nanaimo pushed by high winds*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/b-c-ferry-crashes-leaving-mayne-island-1.2335767>

CN. (2015). *Cartes*. Repéré à <http://www.cn.ca/fr/notre-entreprise/notre-reseau/cartes>

CP. (2015). *Network and facilities*. Repéré à <http://www.cpr.ca/en/choose-rail/network-and-facilities>

Fraser Basin Council. (2014). *Adaptation guidelines for flood hazards and risk assessments*. Repéré à http://www.fraserbasin.bc.ca/Library/CCAQ_BCRAC/bcrac_profile_flood_hazards-risks_4b.pdf

Fraser Basin Council. (2015). *A climate adaptation case study in Canada's mining sector : Addressing weather-related challenges at the Galore Creek project, northwestern British Columbia*. Glare Creek Mining Corporation. Repéré à http://www.retooling.ca/Library/Mining_Essentials/fbc_mining_case_study_galore_creek.pdf

Gouvernement de la Colombie-Britannique. (2011a). *The southern corridor, Canada's Pacific Gateway*. Repéré à http://www.pacificgateway.gov.bc.ca/documents/2010-2011/CPG_English/CPG_S_Corridor-English.pdf

Gouvernement de la Colombie-Britannique. (2011b). *The northern corridor, Canada's Pacific Gateway*. Repéré à http://www.pacificgateway.gov.bc.ca/documents/2010-2011/CPG_English/CPG_N_Corridor-English.pdf

Gouvernement de la Colombie-Britannique. (2011c). *Canada's Pacific Gateway*. Repéré à http://www.pacificgateway.gov.bc.ca/documents/2010-2011/CPG_English/CPG_Brochure-English.pdf

Gouvernement de la Colombie-Britannique. (2015a, March 18). *Quarterly population highlights, Issue 10-04*. Repéré à http://www.bcstats.gov.bc.ca/AboutUs/News/15-03-18/Quarterly_Population_Highlights_-_Issue_14-04.aspx

Gouvernement de la Colombie-Britannique. (2015b, March 18). *2014 Sub-provincial population estimates*. Repéré à <http://www.bcstats.gov.bc.ca/StatisticsBySubject/Demography/PopulationEstimates.aspx>

Gouvernement de la Colombie-Britannique. (2016a). *Certified airports in B.C.* Repéré à <http://www2.gov.bc.ca/gov/content/transportation/passenger-travel/air-or-rail-travel/certified-airports-in-bc>

Gouvernement de la Colombie-Britannique. (2016b). *Coastal flood hazard areas in British Columbia*. Repéré à http://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdf_drawings/

Gouvernement du Canada. (2016). *Météo maritime pour : Pacifique – Côte sud*. Repéré à https://meteo.gc.ca/marine/region_f.html?mapID=02

Griffin, B., Kohfeld, K., Cooper, A., et Boenisch, G. (2010). *Wind speed variability and adaptation strategies in coastal regions of the Pacific Northwest*. School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University, Burnaby, BC. Repéré à http://www.sfu.ca/ccirc/workshop-10_04/brad_griffin.pdf

Groupe de la Banque mondiale. (2016). *Trafic de conteneurs dans les ports (TEU : unités équivalents 20 pieds)*. Repéré à <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/IS.SHP.GOOD.TU/countries/1W?display=graph>

- Ingénieurs Canada. (2008, avril). *Adaptation au changement climatique : Première évaluation nationale de la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques au Canada*. Conseil canadien des ingénieurs. Repéré à <https://pievc.ca/fr/documents-french>
- 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
- Kerr Wood Leidal. (2015). *Lower mainland flood management strategy – Analysis of flood scenarios*. Fraser Basin Council. Repéré à www.fraserbasin.bc.ca/Library/Media/background_der_lmfls.pdf
- Klock, R. et Mullock, J. (2001). *Le temps en Colombie-britannique : Prédiction de zone graphique 31 – Région du Pacifique*. NAV Canada. Repéré à <http://www.navcanada.ca/FR/media/Publications/Local%20Area%20Weather%20Manuals/LAWM-BC-FR.pdf>
- KnowBC. (2016). *BC facts*. Harbour Publishing. Repéré à <http://knowbc.com/BC-Facts>
- Murdock, T.Q., et Sobie, S.R. (2013). *Climate extremes in the Canadian Columbia Basin : A preliminary assessment*. Repéré à <http://www.pacificclimate.org/resources/publications?tid%5B%5D=48&keys>
- Pacific Climate Impacts Consortium. (2013a). *Atmospheric rivers : State of knowledge report*. Repéré à www.pacificclimate.org/sites/default/files/publications/Atmospheric%20Report%20Final%20Revised.pdf
- Pacific Climate Impacts Consortium. (2013b). *Regional climate summaries*. Repéré à <https://www.pacificclimate.org/news-and-events/news/2013/regional-climate-summaries>
- Pacific Climate Impacts Consortium. (2013c). *Plan2adapt*. Repéré à <https://www.pacificclimate.org/analysis-tools/Plan2Adapt>
- Port Metro Vancouver. (2014). *Port Metro Vancouver financial 2014 annual report*. Repéré à http://issuu.com/portmetrovancover/docs/pmv_2014financialreport?e=3721702/13278565
- Port Metro Vancouver. (2015a). *Container capacity improvement program : Planning ahead for Canada's trade future*. Repéré à <http://www.portmetrovancover.com/wp-content/uploads/2015/05/pmv-container-capacity-improvement-program-update-may-2015.pdf>
- Port Metro Vancouver (2015b). *Statistics overview 2014*. Repéré à www.portmetrovancover.com/wp-content/uploads/2015/05/2014-statistics-overview.pdf
- Port of Prince Rupert. (2014). *Intermodal*. Repéré à <http://www.rupertport.com/shipping/intermodal>
- Statistique Canada. (2011). *Recensement de la population de 2011. Population urbaine et rurale, par province et territoire (Colombie-Britannique)*. Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l02/cst01/demo62k-fra.htm>
- Statistique Canada. (2015a). *Tableau 284-0038 - Produit intérieur brut, en termes de dépenses, provinciaux et territoriaux, annuel (dollars sauf indication contraire), CANSIM (base de données)*. Repéré à <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?id=3840038&retrLang=fra&lang=fra>
- Statistique Canada. (2015b). *Tableau 405-0004 - Immatriculations de véhicules automobiles, par province et territoire (Saskatchewan, Alberta, Colombie-Britannique), CANSIM (base de données)*. Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l02/cst01/trade14c-fra.htm>
- Statistique Canada. (2015c). *Tableau 404-0021 - Transport ferroviaire, origine et destination des marchandises, annuel (tonnes), CANSIM (base de données)*. Repéré à <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?id=4040021&retrLang=fra&lang=fra>
- TranBC. (2016). *Fighting a flood: Highway 20, one year later*. Ministry of Transportation and Infrastructure Online. Repéré à <http://tranbc.ca/2011/10/13/fighting-a-flood-highway-20-one-year-later/#sthash.4lybCyg8.dpbs>
- Transports Canada. (2015). *Transport aérien*. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/pacifique/aerien-menu-1381.htm>
- Travel BC. (2016). *British Columbia airlines and freight companies*. Repéré à <http://www.travel.bc.ca/transportation/airlines/>
- Vadeboncoeur, N. (2016). Perspectives relatives à la région de la côte Ouest 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. 209-256). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada.
- VIA Rail. (2015a). *Le canadien (Ouest du Canada)*. Repéré à http://www.viarail.ca/sites/all/files/media/pdfs/schedules/summer2015/40-41_Toronto-Winnipeg-Jasper-Vancouver.pdf
- VIA Rail. (2015b). *Ouest du Canada*. Repéré à http://www.viarail.ca/sites/all/files/media/pdfs/schedules/winter2015/44-45_Jasper-PrinceGeorge-PrinceRupert.pdf