



7 · Québec

CHAPITRE 7 : Québec

AUTEURS PRINCIPAUX :

MARIE-PIER BRETON¹
GENEVIÈVE CLOUTIER²
E.O.D. WAYGOOD³

ÉDITÉ PAR :

CAROLINE LARRIVÉE, OURANOS

REMERCIEMENTS :

Les auteurs tiennent à remercier le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports de ses apports et commentaires apportés aux versions préliminaires du chapitre

NOTATION BIBLIOGRAPHIQUE RECOMMANDÉE :

Breton, M.-P., Cloutier, G., et Waygood, E.O.D. (2017). Québec. Dans K. Palko et D.S. Lemmen (Éds.), *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016* (pp. 199-238). Ottawa (ON) : Gouvernement du Canada.

-
- ¹ École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional, Université Laval, Québec (QC)
² École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional, Université Laval, Québec (QC)
³ École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional, Université Laval, Québec (QC)

TABLE DES MATIÈRES

Principales conclusions.....	201
1.0 Introduction.....	202
1.1 Portrait du Québec	202
2.0 Organisation du transport au Québec.....	203
2.1 Transport routier	206
2.2 Transport maritime	208
2.3 Transport ferroviaire	209
2.4 Transport aérien	209
3.0 Un climat en évolution.....	210
3.1 Des températures qui se réchauffent	210
3.2 Des précipitations plus intenses	213
3.3 Des incertitudes concernant les vents.....	215
3.4 Des variations des débits moyens des rivières.....	215
3.5 Le niveau relatif de la mer	216
3.6 Une perte progressive du couvert de glace.....	216
3.7 Le pergélisol affecté	217
4.0 Vulnérabilités des transports face aux changements climatiques au Québec	218
4.1 Transport terrestre	218
4.1.1 Les vulnérabilités du transport routier dans le sud du Québec et le long du Saint-Laurent	218
4.1.2 Les vulnérabilités du transport terrestre au Nunavik.....	220
4.1.3 Les événements météorologiques extrêmes et le transport routier	221
4.2 Transport maritime	223
4.2.1 Le transport maritime dans le corridor du Saint-Laurent.....	223
4.2.2 Le transport maritime au Nunavik	224
4.3 Transport ferroviaire	224
4.3.1 Le transport ferroviaire dans le corridor du Saint-Laurent.....	225
4.4 Transport aérien	225
4.5 Réseaux de distribution et de télécommunications	226
5.0 Mesures d'adaptation	226
5.1 Mesures d'adaptation planifiées et mises en œuvre par le gouvernement du Québec.....	227
5.2 Mesures d'adaptation à l'échelle régionale et locale	228
6.0 Conclusions et besoins futurs de recherche	231
Références	232

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- **Les changements climatiques vont modifier l'environnement naturel dans toutes les régions du territoire québécois et pourraient endommager ou causer des interruptions de services dans les systèmes de transport.** Le Nunavik subit et continuera de subir les plus importants changements climatiques et de composer avec le dégel du pergélisol sur lequel sont bâties les infrastructures de transport. Dans l'est du Québec, la hausse du niveau marin relatif, la perte du couvert de glace, les cycles de gel et de dégel ainsi que les changements aux régimes de tempêtes contribueront à accentuer l'érosion des berges. La gestion des eaux de ruissellement constitue un enjeu pour toutes les régions du Québec.
- **La vulnérabilité des systèmes de transport face aux changements climatiques varie selon les caractéristiques régionales, le type d'infrastructure et sa vocation.** L'état des infrastructures et les pratiques d'entretien, l'usage réel des systèmes de transport ou encore l'existence d'alternatives en cas d'interruption de service sont des facteurs qui influencent l'ampleur des impacts des changements climatiques sur les systèmes de transport.
- **Les événements météorologiques extrêmes constituent un des plus grands risques pour le secteur des transports, et ce, pour toutes les régions du Québec.** Les épisodes de pluie intense, les inondations, l'érosion des berges et les glissements de terrain affecteront à la fois les infrastructures de transport, ainsi que la mobilité des personnes et des marchandises. L'isolement des collectivités qui dépendent plus fortement d'un mode de transport en particulier pourrait être accentué par des événements météorologiques extrêmes.
- **Bien que, à l'instar des territoires du Nord canadien, l'impact le plus important des changements climatiques se fasse sentir sur le dégel du pergélisol, la hausse des températures affecte aussi les communautés du Nord du Québec et réduit la mobilité hivernale en raison notamment d'une période de gel plus courte.** La saison hivernale plus courte et la perte du couvert de glace rendent l'accès au territoire et aux ressources plus difficile pour les individus qui en dépendent pour leur subsistance.
- **Les enjeux associés à l'adaptation aux changements climatiques représentent des défis importants sur le plan social, institutionnel, environnemental et économique.** Les histoires à succès en la matière sont le résultat d'initiatives multisectorielles impliquant des acteurs des secteurs publics, privés et de la société civile et qui se sont intégrées aux efforts de planification existants.
- **L'acquisition de données pour suivre l'état des infrastructures et les efforts de recherche de solutions performantes pour les systèmes de transport sont importants pour s'adapter aux changements inévitables.** Les options d'adaptation toucheront autant la conception que les pratiques de gestion pour opérer et entretenir les infrastructures. L'analyse de la performance de ces options dépend d'une bonne connaissance des systèmes de transport et de l'environnement dans lequel ils évoluent.

1.0 INTRODUCTION

Au Québec, le transport joue un rôle majeur pour appuyer la vitalité des régions, la distribution des biens et services et l'exploitation des ressources naturelles. La plupart des infrastructures de transport (routier, ferroviaire, maritime et aérien) ont été conçues en prévision d'un climat stable. Or, le climat change, affectant du même coup la durée de vie et l'état des infrastructures. L'étendue du territoire, le caractère isolé de certaines communautés québécoises et la faible redondance du système de transport⁴ dans les régions parmi les plus affectées par les changements climatiques sont autant de facteurs qui accentuent leur vulnérabilité.

Depuis près de vingt ans, le gouvernement du Québec, les associations de transporteurs, les tables d'expertise et les entreprises déploient des efforts de plus en plus importants pour adapter les différentes filières modales aux changements climatiques et ainsi renforcer la résilience du système de transport. Ces efforts ont permis de développer une connaissance des impacts et des solutions potentielles pour améliorer la gestion des infrastructures de transport.

Ce chapitre décrit l'organisation du transport au Québec, par mode et par région, et dresse la liste, sur la base de la littérature et des études existantes, des principales vulnérabilités face aux changements climatiques. Le chapitre traite aussi des pratiques d'adaptation pour faire face à ces enjeux.

1.1 PORTRAIT DU QUÉBEC

Démographie et contexte socio-économique

Le Québec couvre plus de 1,6 M km² (Institut de la statistique du Québec, 2014), et compte environ 8 263 600 personnes (Institut de la statistique du Québec, 2015; voir figure 1) faisant de cette province la deuxième plus peuplée du pays. Plus de la moitié (60 %) de la population du Québec est concentrée dans un axe de 10 km de largeur de part et d'autre des rives du Saint-Laurent (Institut de la statistique du Québec, 2014).

Plus précisément, la population québécoise se concentre dans les quelques grandes zones urbaines du sud de la province (Montréal, Québec, Gatineau, Sherbrooke, Trois-Rivières). Dans les autres régions, les agglomérations sont plus dispersées. À titre d'exemple, le Nunavik couvre un peu moins du tiers du territoire et compte environ 12 700 habitants, distribués dans 14 villages nordiques et la communauté Cri de Whapmagoostui.

Une croissance de la population est attendue dans 13 des 17 régions administratives du Québec pour l'horizon 2061 (Girard et coll., 2014). Les régions qui bénéficieront de cette croissance sont celles qui sont favorisées par les migrations internationales (Montréal et Laval), les migrations interrégionales (Outaouais), les migrations internes (Laval, Lanaudière) et un accroissement de la fécondité (Nunavik).

Comme l'indique le tableau 1, les régions urbaines de la Capitale-Nationale⁵, de Montréal, de la Montérégie, de Laval et de l'Outaouais se démarquent des autres régions par leur grande diversité industrielle et comptent pour 67,4 % du PIB. Ces régions combinent plusieurs avantages liés à leur localisation, dont l'accès à la voie navigable et à des infrastructures de transport international indispensables à leur rayonnement. Quant aux autres régions, elles dépendent davantage des activités d'extraction ou de transformation des matières premières ou encore d'activités touristiques. La zone de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent est le milieu de vie de près de 5 % de la population québécoise et elle compte pour l'équivalent du poids économique de la province (Beaulieu, 2014).

⁴ La redondance d'un système de transport correspond aux alternatives que compte ce système, lui assurant des voies et services additionnels si la première option venait à être perturbée. Un système à faible redondance compte peu d'options.

⁵ Région de la Ville de Québec

Tableau 1 : La distribution de la population et de l'intensité des activités économiques par région.
(Source : Soucy, 2015)

Région administrative	Population (2014)	Poids démographique	Superficie terrestre	Densité	Poids économique
	Habitants	%	KM ²	hab./KM ²	%
01 Bas-Saint-Laurent	200 292	2,4	22 154	9,0	2,0
02 Saguenay-Lac-Saint-Jean	277 786	3,4	95 870	2,9	3,2
03 Capitale-Nationale	731 838	8,9	18 663	39,3	10,0
04 Mauricie	266 794	3,2	35 531	7,5	2,5
05 Estrie	320 008	3,9	10 193	31,4	3,2
06 Montréal	1 988 243	24,2	500	3 992,5	34,6
07 Outaouais	383 182	4,7	30 331	12,6	3,6
08 Abitibi-Témiscamingue	147 868	1,8	57 550	2,6	2,1
09 Côte-Nord	94 906	1,2	235 582	0,4	2,3
10 Nord-du-Québec	44 256	0,5	697 152	0,1	0,9
11 Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	92 472	1,1	20 327	4,6	0,8
12 Chaudières-Appalaches	419 755	5,1	15 001	27,8	4,2
13 Laval	420 870	5,1	246	1 710,9	4,1
14 Lanaudière	492 234	6,0	12 299	40,0	3,6
15 Laurentides	586 051	7,1	20 490	28,5	5,4
16 Montérégie	1 508 127	18,4	11 141	135,7	15,1
17 Centre-du-Québec	239 990	2,9	6 899	34,7	2,6
Ensemble du Québec	8 214 672	100	1 300 815	6,3	100

2.0 ORGANISATION DU TRANSPORT AU QUÉBEC

Le transport de marchandises est, tout comme le transport des voyageurs, multimodal et interconnecté (CPCS, 2013). Si le camionnage constitue le mode privilégié pour le transport des marchandises, les liens ferroviaires et la Voie maritime, qui relie le Saint-Laurent aux Grands Lacs, se partagent aussi le transport d'une part significative des marchandises. Le transport aérien, quant à lui, transporte un volume moindre de marchandises, mais demeure un mode stratégique lorsque la livraison doit se faire rapidement et que le poids des marchandises n'est pas un enjeu (CPCS, 2013 : 2-29).

Au Canada, le Saint-Laurent constitue une porte d'entrée continentale en importance. Cet axe de transport multimodal est stratégique pour l'espace économique, démographique et géographique du pays et fait du Québec une plaque tournante du transport des marchandises vers les autres provinces, mais aussi vers les États-Unis. Le corridor Québec-Windsor concentre environ 80% des activités de VIA Rail Canada (2014).

Les autres régions du Québec sont reliées au sud de la province par des corridors stratégiques permettant l'exploitation de ressources naturelles comme la forêt, l'hydro-électricité et les minéraux. Ces régions dépendent principalement du transport routier pour le déplacement des marchandises et des personnes. Des liaisons aériennes sont d'ailleurs développées pour chacune de ces régions. L'étendue du territoire et la dispersion des populations engendrent des défis de taille en matière de planification et la gestion des réseaux de transport (Ministère des Transports du Québec, 2013a).

Enfin, les 14 communautés inuites et la communauté Cri de Whapmagoostui au Nunavik ne sont accessibles que par voies aériennes ou maritimes à partir du sud de la province tout comme les Îles-de-la-Madeleine et certaines communautés dans l'extrême est de la région de la Basse-Côte-Nord.

Sur le territoire québécois, la planification, la conception ainsi que les travaux de construction, de réfection et d'entretien en plus de la gestion des infrastructures de transport sont l'affaire de plusieurs partenaires institutionnels et privés. Y participent à divers degrés différents ministères du gouvernement du Québec, organismes publics de transport, sociétés de transport en commun, ministères et organismes relevant du gouvernement fédéral, associations de transporteurs, conseils intermunicipaux et organismes municipaux de transport, municipalités locales, municipalités régionales de comté, communautés métropolitaines, communautés autochtones, etc.

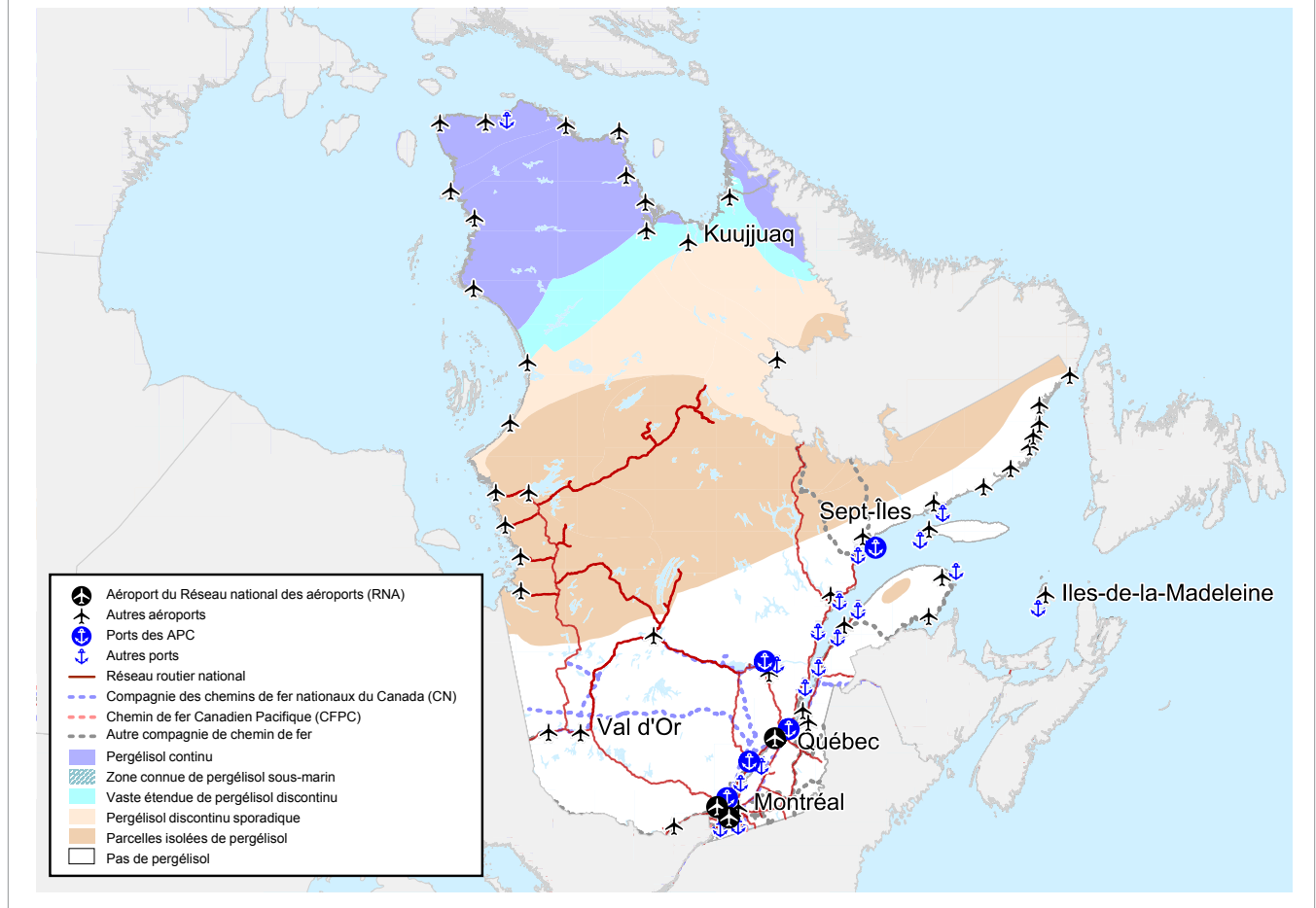
Dans cette structure de gestion et de partage des responsabilités des infrastructures de transport, le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET) joue un rôle central. Les autoroutes - routes nationales, régionales, collectrices - et certaines routes d'accès aux ressources et aux localités isolées relèvent de la compétence du gouvernement du Québec (Ministère des Transports du Québec, 2015b). Le MTMDET partage la gestion de ces réseaux avec les transporteurs et exploitants privés ainsi qu'avec certaines administrations locales et régionales⁶. Les principaux réseaux de chemin de fer sont principalement sous compétence fédérale, mais aussi provinciale (les chemins de fer d'intérêt local - CFIL) de même que sous la responsabilité d'une douzaine d'organisations privées, ou grands chemins de fer comme le Canadien National (CN) ou le Canadien Pacifique (CP). Les ports et aéroports du Québec sont la propriété d'une multitude d'acteurs publics et privés et ce sont eux qui les gèrent.

En outre, le MTMDET produit des manuels et des guides pour orienter la conception, la gestion et l'entretien des ouvrages et des systèmes de transport. Ces manuels sont utilisés comme référence principale par les municipalités québécoises pour les routes sous leur responsabilité.

La figure 1 présente les infrastructures de transport du Québec et montre la diversité des principales infrastructures présentes sur le territoire québécois ainsi que la pluralité des intervenants qui s'en partagent la gestion.

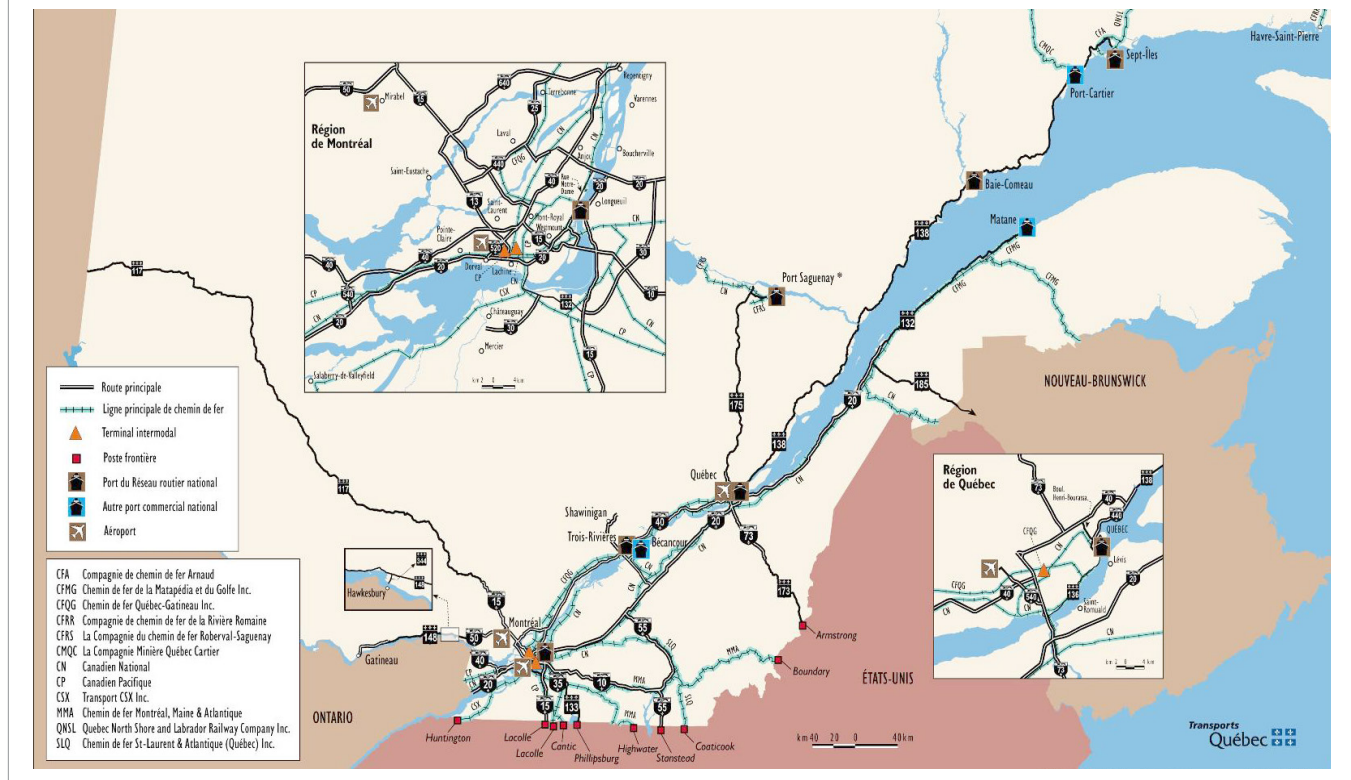
⁶ La Société de développement de la Baie-James (SDBJ) pour le réseau routier de la Baie-James appartenant à Hydro-Québec et l'Administration régionale Kativik pour les aéroports du Nunavik.

Figure 1 : Carte des principales infrastructures de transport au Québec



La démarche intitulée Porte continentale et Corridor de commerce Ontario-Québec a été entreprise conjointement par les gouvernements du Québec, de l'Ontario et du Canada en 2007. Elle visait à mettre en place un système de transport multimodal intégré, sûr, durable et compétitif pour soutenir le commerce international. En ce sens, la vallée du Saint-Laurent peut être vue comme le principal corridor du réseau d'infrastructures de transport sur le territoire du Québec qui permet une grande part des échanges entre le Québec et ses principaux partenaires économiques. On y trouve les principaux pôles urbains de Montréal et Québec. La figure 2 illustre cette intermodalité à l'échelle du Québec.

Figure 2 : Pôles intermodaux sur le territoire québécois. (Source : Gouvernement du Québec, ministère des Transports, 2013 (données de 2010))



2.1 TRANSPORT ROUTIER

Le transport routier des marchandises constitue l'un des modes les plus souples et accessibles et s'avère être le mode privilégié pour le transport des marchandises et des personnes. Cela vaut pour les déplacements de proximité autant que pour les déplacements interrégionaux et interprovinciaux (Ministère des transports du Québec, 2013b). En plus d'assurer l'accès à une grande partie du territoire québécois, les infrastructures routières favorisent les connexions intermodales avec les terminaux ferroviaires, les ports et les aéroports (CPCS, 2013).

On recense environ 319 000 km de routes sur le territoire québécois, incluant les autoroutes, les routes nationales, les routes collectrices, les rues, les ponts et viaducs, les chemins d'accès et les chemins locaux (Ministère des Transports du Québec, 2015b; voir figure 3). On compte également plus de 300 000 kilomètres de chemins multi-usages en milieu forestier.

Le vieillissement des infrastructures accentue à la fois leur vulnérabilité et les coûts d'entretien. L'âge moyen des infrastructures offre une manière d'évaluer l'état du réseau et la nécessité des investissements qui sont faits pour en assurer l'entretien. Le réinvestissement dans ce domaine, depuis le début des années 2000, a fait passer l'âge moyen des routes au Québec de 18 ans en 2000 à 13 ans en 2009 (Gagné et Haarman, 2011).

Certaines régions sont fortement dépendantes d'un lien routier unique pour leurs besoins régulier d'approvisionnement et de mobilité. L'accessibilité à ces régions pourrait être considérablement compromise après un événement météorologique majeur (inondation, glissement de terrain, érosion) causant des dommages importants à ce lien routier.

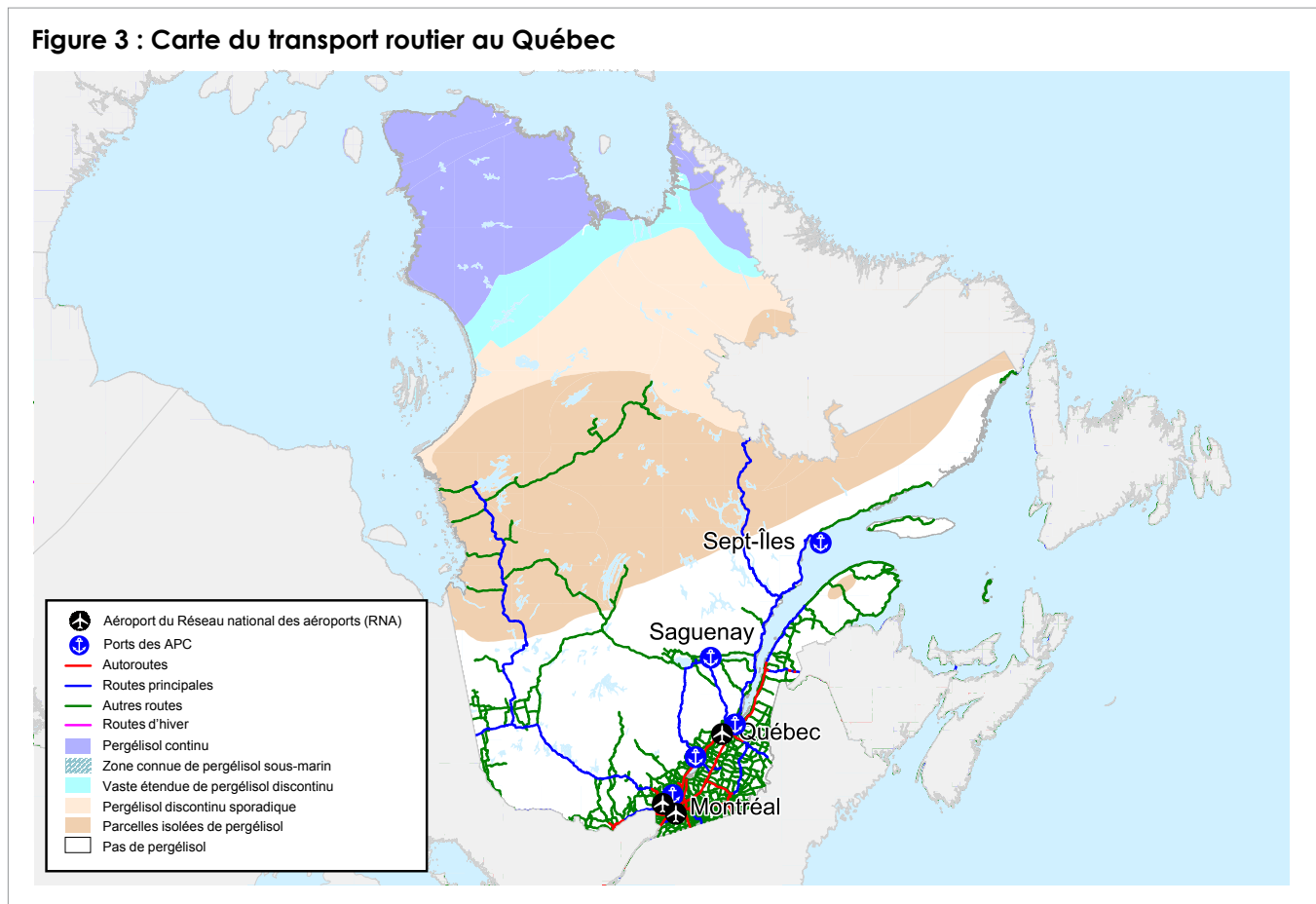
Bien que les comportements des usagers soient souvent en cause dans les accidents, la contribution des conditions météorologiques doit également être prise en compte dans la gestion de la sécurité

routière (Andrey, 2010). En outre, le nombre de collisions augmente lors de précipitations (Andrey et Mills, 2002). Toutefois, le nombre d'accidents de la route est en baisse depuis 2007, au Québec comme ailleurs au Canada.

Certaines régions touristiques comme la Gaspésie, les Îles-de-la-Madeleine, la Côte-Nord et le Bas-Saint-Laurent ont développé des équipements et des activités pour mettre en valeur la région et attirer des visiteurs. Des routes thématiques⁷, comme la Route des Baleines ou la Route des Navigateurs, et des parcs nationaux s'appuyant sur leur rapport au fleuve (par exemple, le parc Marin du Saguenay et le parc du Bic) constituent des piliers du développement touristique de ces régions. La perte d'accès à ces parcs, causée par l'érosion des routes en bordure du fleuve aurait un impact sur le développement économique et social. Il en est de même pour les routes bleues, une autre route thématique, et les infrastructures associées, qui sont également tributaires des changements observés le long du Saint-Laurent (érosion des berges, baisse des niveaux d'eau, etc.).

Enfin, certaines portions du réseau routier québécois sont fortement congestionnées par le trafic général, en particulier dans les deux régions métropolitaines de Québec et de Montréal (Ministère des Transports du Québec, 2013a). La réduction de la vitesse causée par la congestion augmente le temps de transit, le coût du transport routier et elle diminue la fiabilité ou la perception de fiabilité de ce mode de transport. La congestion routière combinée avec la hausse anticipée des températures en été et de la fréquence, de la durée et de l'intensité des canicules, pourraient aussi avoir d'importantes implications sur le système de gestion des marchandises transportées par route au cours des prochaines années, notamment en ce qui concerne les nouveaux critères de réfrigération, les choix des matériaux pour les chaussées et ainsi de suite (Goodwin, 2004; James et James, 2010).

Figure 3 : Carte du transport routier au Québec



⁷ Pour plus de précisions, consulter <http://www.sentiermaritime.ca/index.asp?id=522>.

2.2 TRANSPORT MARITIME

Le transport maritime est étroitement lié à différents secteurs clés de l'économie québécoise. Le long du corridor du Saint-Laurent, il joue un rôle majeur quant à la mobilité des marchandises. Les activités de transport maritime, incluant les services maritimes, portuaires et le tourisme de croisières, sont à la hausse au Québec depuis 2000. En 2011, ces activités représentaient un chiffre d'affaires de plus de 2,3 milliards de dollars.

Les ports se trouvant sur le long du Saint-Laurent servent principalement à déplacer des minerais, des produits forestiers, des produits agricoles et alimentaires, des biens manufacturés, des carburants et des produits chimiques de même que de la machinerie (Société de développement économique du Saint-Laurent, 2015), en plus de permettre l'approvisionnement des industries et des communautés (voir figure 2).

Le Nunavik, les communautés côtières de la région Eeyou-Istchee Baie-James ainsi que plusieurs municipalités le long de la Côte-Nord sont aussi équipés avec des infrastructures maritimes, constituées de brise-lames, rampes d'accès, balises ou pontons flottants, qui desservent les populations locales. Ces infrastructures sont, dans la grande majorité des cas, le principal lien d'approvisionnement des communautés éloignées. Quelques infrastructures maritimes de plus grande taille desservent des activités industrielles dans ces mêmes régions. Par exemple, un quai privé en eau profonde à la Baie Déception au Nunavik dessert une activité minière, et d'autres projets de quais privés industriels pourraient voir le jour dans la région avec l'intensification des activités minières.

Les principaux ports commerciaux au Québec incluent les ports sous la responsabilité des administrations canadiennes des ports de Montréal, Trois-Rivières, Québec, Saguenay et Sept-Îles. Les autres ports et infrastructures maritimes jouent un rôle important pour soutenir les activités récréotouristiques et d'autres besoins locaux.

En 2011, le réseau portuaire québécois a manutentionné 130,4 millions de tonnes de marchandises, dont les trois quarts étaient des marchandises internationales (Statistique Canada, 2011). Le port de Montréal est le plus important port de conteneurs de l'est du Canada (Port de Montréal, 2015), recevant annuellement plus d'un million de conteneurs équivalent vingt pieds. Jouant un rôle de pivot du transport des marchandises, il est directement relié aux réseaux ferroviaire et routier. Chaque semaine, 80 convois de trains transitent par le port et le nombre quotidien d'entrées et de sorties de camions s'élèvent à 5 000 (Port de Montréal, 2015). Les ports de Sept-Îles-Pointe-Noire, de Port-Cartier, de Baie-Comeau et de Havre-Saint-Pierre, sur la Côte-Nord, sont parmi les dix ports québécois les plus importants en matière de tonnage de marchandises manutentionnées (Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2011). Le port en eau profonde de Québec avec une vocation de transbordement agit comme véritable plaque tournante du commerce sur le corridor Grands Lacs — Fleuve Saint-Laurent. Le port de Sept-Îles est même le troisième plus important au Canada pour le tonnage de vrac manutentionné.

Les traversiers gérés par la Société des traversiers du Québec sont articulés avec le système de transport terrestre pour renforcer la mobilité des personnes. Dans certains milieux urbains, les connexions offertes avec les réseaux de transports publics facilitent aussi les déplacements intrarégionaux et interrégionaux. L'activité des traversiers est toutefois tributaire des fluctuations de l'économie (ROCHE-Deluc, 2010). Les traversiers sont également exposés aux conditions météorologiques et aux impacts des changements climatiques. Sur le Saint-Laurent, 18 traversiers opèrent à longueur d'année et assurent une desserte pour plus de 5 millions de passagers et plus de 2 millions de véhicules (Société des traversiers du Québec, 2014).

2.3 TRANSPORT FERROVIAIRE

Le réseau ferroviaire québécois suit principalement la vallée du Saint-Laurent et s'étend vers le nord de la province vers les régions de l'Abitibi-Témiscamingue, du Saguenay-Lac-Saint-Jean et Chibougamau, de la Côte-Nord et du Labrador (voir figure 2). Il assure notamment le transport de conteneurs intermodaux des produits forestiers, des produits miniers et de l'aluminium. Un grand nombre de wagons circulent dans la région de Montréal et de Québec, à destination des autres provinces canadiennes et des États-Unis (Ministère des Transports du Québec, 2008).

Plusieurs compagnies de transport ferroviaire de marchandises desservent le territoire québécois. Les plus grandes sont le Canadien National (CN), le Canadien Pacifique (CP) et Transport CSX, qui représentent à elles seules près de 58 % du réseau présent au Québec. Quelques compagnies manufacturières ou extractrices de ressources, comme Arcelor Mittal ou Rio Tinto Alcan, exploitent également certaines voies ferrées de la province. Sauf exception, les chemins de fer dont les voies s'étendent hors du Québec sont de compétence fédérale, tandis que tous les autres sont de compétence provinciale. Le transport des personnes est principalement assuré par VIA Rail Canada Inc., mais aussi par Québec North Shore and Labrador Railway, par la Société Amtrak pour les tronçons les plus au sud de la province qui mènent aux États-Unis, et par les trains de banlieue et les trains touristiques.

La demande en services ferroviaires connaît une certaine croissance depuis 2001, tant pour le transport des marchandises que pour celui des voyageurs (Réseau des chemins de fer du Québec, 2011). Le réseau de rails sous la compétence provinciale a crû depuis vingt ans, passant de 564 kilomètres de voies ferrées en 1993, à plus de 1 700 km en 2015 (Ministère des Transports du Québec, 2015a).

2.4 TRANSPORT AÉRIEN

Le secteur aérien assure le transport des personnes, de fret et aussi plusieurs autres activités, dont les évacuations aéromédicales, les patrouilles de glaces, l'épandage de produits, et plus encore. En matière de fret, près de 146 000 tonnes, équivalent à 3,7 milliards de dollars, ont été transportées par les 380 établissements du transport aérien en 2010 au Québec (MTQ 2013a).

Le Québec compte sur son territoire deux aéroports internationaux (Montréal et Québec) et divers aéroports régionaux, dont 26 sont la propriété du ministère des Transports (voir figure 2). On dénombre également près de 150 aérodromes, une cinquantaine d'hydro-aérodromes et une cinquantaine d'héliports.

Le trafic aérien de passagers a augmenté de 4 % sur le territoire québécois, entre 2013 et 2014, pour atteindre 16,5 millions de passagers (Statistique Canada, 2014). Le trafic aérien de passagers est à la hausse et devrait le demeurer selon les scénarios 2012-2022.

3.0 UN CLIMAT EN ÉVOLUTION⁸

Les risques climatiques pour les infrastructures et services de transport varient en fonction de leur localisation et des saisons. Ces considérations sont importantes pour mieux saisir les impacts potentiels des changements à venir, car ils pourraient contribuer à accentuer la vulnérabilité du secteur des transports.

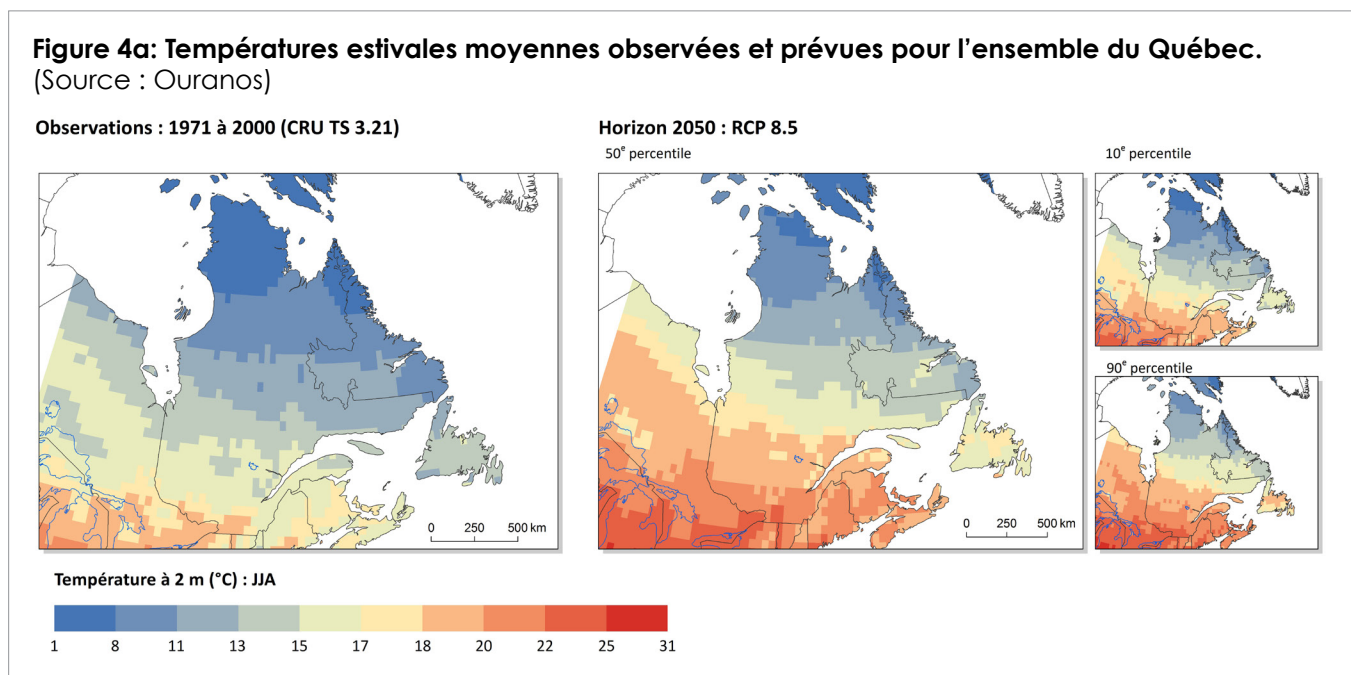
L'étendue du territoire québécois et sa topographie (jusqu'à 1 652m d'altitude) contribuent à créer différents climats (Ouranos, 2015), d'un climat continental froid et humide au sud et dans l'est de la province, à un climat continental subpolaire plus au centre et un climat polaire de toundra au nord en passant par un climat maritime vers les zones côtières du golfe Saint-Laurent.

L'ensemble du Québec est affecté par les changements climatiques et certaines tendances générales sont déjà observables.

3.1 DES TEMPÉRATURES QUI SE RÉCHAUFFENT

Depuis 1950, la tendance des températures est à la hausse dans pratiquement toutes les régions du Québec, tant pour les températures moyennes que les températures plus extrêmes. De fait, ce sont les extrêmes froids qui ont subi les changements les plus manifestes. Ainsi, on note une réduction du nombre de nuits et jours frais, de même que pour la durée des vagues de froid pour la période 1951-2010 (Donat et coll., 2013). Durant la même période, on a aussi observé une augmentation significative du nombre de nuits et de jours chauds ainsi que de la durée des vagues de chaleur.

Les projections suggèrent que ces tendances vont se poursuivre, et de manière plus prononcée vers les latitudes plus au nord. De surcroît, les tendances au réchauffement seront plus marquées pour les températures extrêmes minimales et maximales que pour les températures moyennes. La figure 4 montre la moyenne des températures observées et projetées en été et en hiver pour tout le Québec.



⁸ Ce chapitre présente les conditions pour le climat actuel et les projections futures pour le Québec pour les variables les plus susceptibles d'affecter le secteur des transports. À moins d'indication contraire, les informations proviennent du document de référence « Vers l'adaptation » (Ouranos, 2015), un état des connaissances publié par Ouranos en 2015. Pour plus de précisions, le lecteur est invité à consulter le chapitre 1 de ce document.

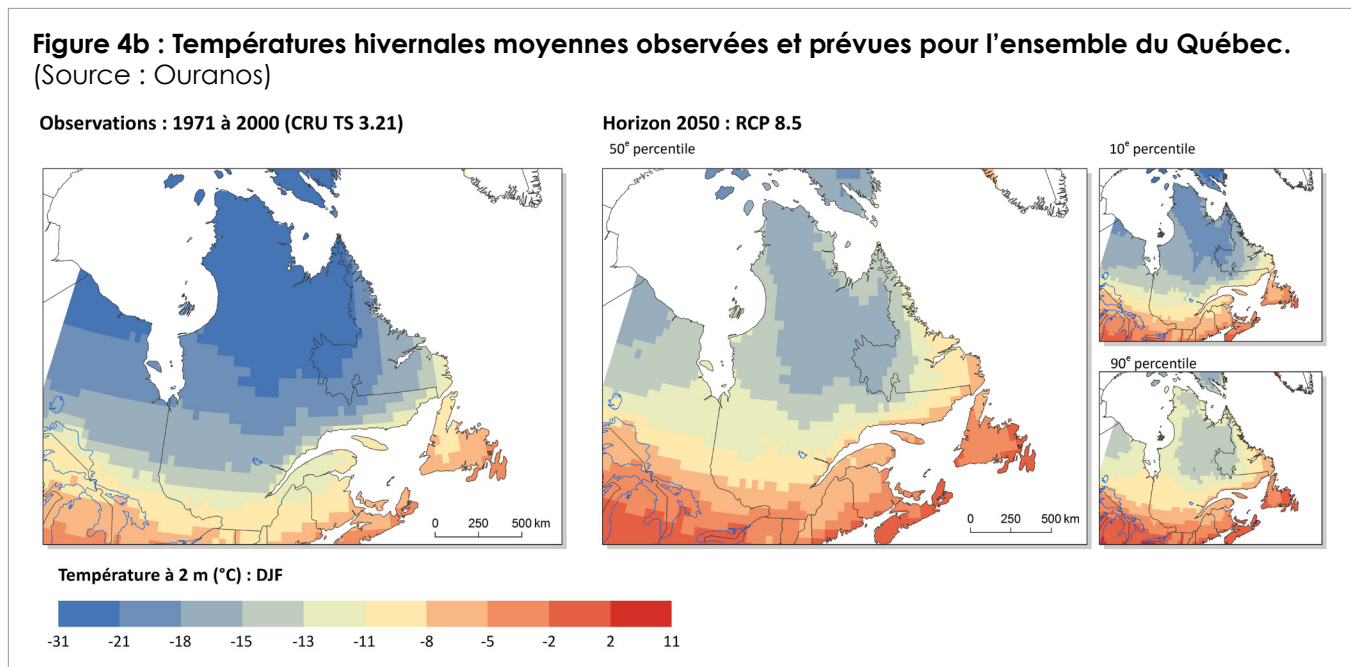
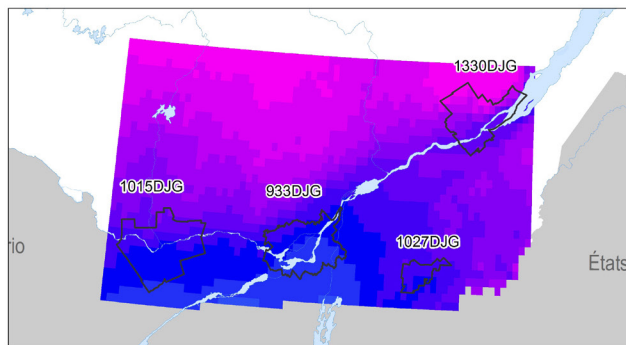


Figure 4 : Températures moyennes observées d'été (JJA : juin, juillet et août) (Figure 4a) et d'hiver (DJF : décembre, janvier, février) (Figure 4b) pour la période 1971-2000 (panneau gauche) et projetées (panneaux droits) pour l'horizon 2050 (2041-2070). La moyenne observée est calculée à partir des données CRU TS 3.21 (climatique recherche unité série chronologique, 3.21 est le nom du communiqué). Les cartes futures présentent la médiane de l'ensemble (c'est-à-dire, la médiane de toutes les projections disponibles) ainsi que les 10e et 90e percentiles (c'est-à-dire, les limites inférieures et supérieures) de 29 scénarios climatiques futurs. Les scénarios climatiques futurs ont été produits selon la méthode « delta » appliquée aux observations (Charron, 2014), utilisant des simulations CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) (RCP8.5). (Source : Ouranos)

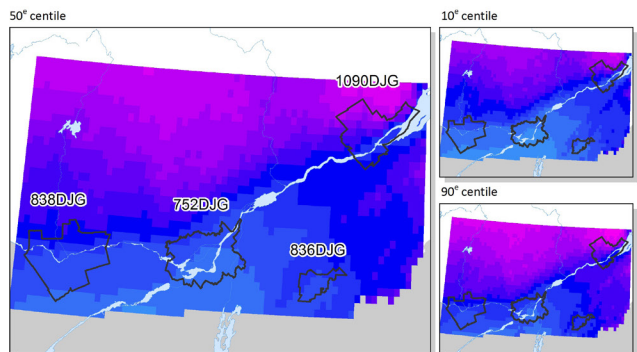
Ce réchauffement amènera aussi des changements au niveau des indicateurs qui affectent le secteur du transport. Par exemple, un début plus tardif et une fin plus hâtive pourraient faire diminuer la longueur de la saison de gel de près d'un mois pour le Sud du Québec à l'horizon 2050 (Logan et coll., 2016, sous presse). La figure 5 montre les projections des degrés-jours de gel.

Figure 5 : Conditions historiques et futures projetées des degrés-jours de gel (annuel), calculées à partir de l'ensemble des scénarios climatiques RCP 8.5 (n=11). Le panneau historique représente la médiane des scénarios climatiques⁹. Pour les horizons futurs, les panneaux gauches représentent la médiane (c'est-à-dire, la médiane de toutes les projections disponibles) tandis que les panneaux droits représentent les 10e et 90e centiles (c'est-à-dire, les limites inférieures et supérieures), respectivement. La moyenne régionale est indiquée au-dessus du contour de quatre régions urbaines (Gatineau/Ottawa, la Communauté métropolitaine de Montréal, Sherbrooke et la Communauté métropolitaine de Québec). (Source : Ouranos)

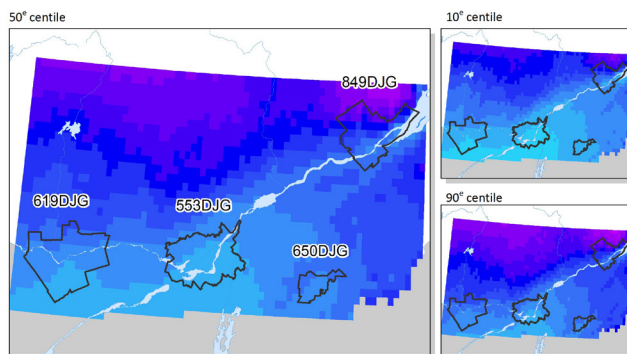
Historique : 1976-2005



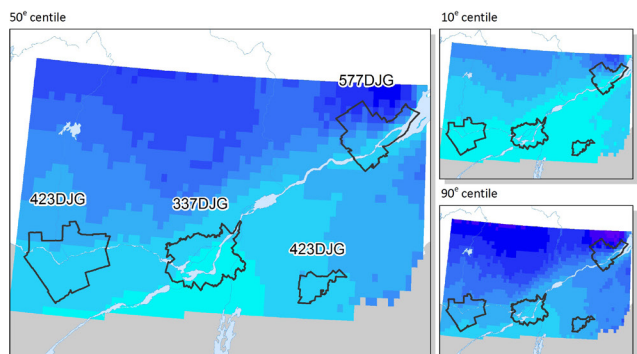
Horizon 2011-2040 : RCP 8.5



Horizon 2041-2070 : RCP 8.5



Horizon 2071-2100 : RCP 8.5



Degrés-jours de gel (DJG) : ANN



Les observations du passé récent montrent une augmentation des cycles gel-dégel au cours des années plus chaudes (Chaumont et Brown, 2010). Toutefois, les projections laissent entrevoir une diminution du nombre de cycles gel-dégel. En effet, d'ici 2050, il est probable que la saison de gel aura à ce point raccourci qu'il sera difficile d'atteindre le nombre de cycles gel-dégel qui prévaut actuellement dans une saison.

⁹ Notez que dans ce cas, la normale climatique historique n'est pas calculée à partir de données observées, mais à partir des valeurs simulées par les modèles corrigées par rapport aux observations par une méthode de post-traitement

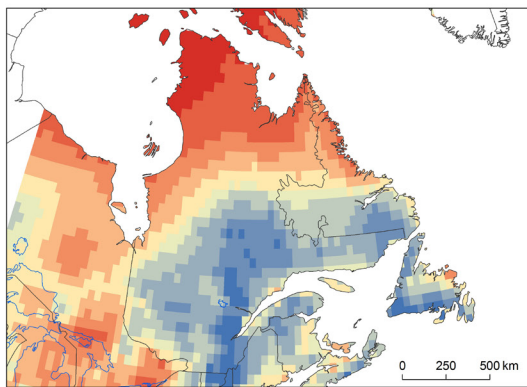
3.2 DES PRÉCIPITATIONS PLUS INTENSES

La tendance historique pour le cumul annuel des précipitations est significativement à la hausse pour plusieurs stations météorologiques situées surtout dans le Sud du Québec. Pour certaines de ces stations, ces tendances s'expliquent par des hausses printanières et automnales des précipitations.

On s'attend à des augmentations des hausses de précipitations en hiver et au printemps pour tout le Québec. Dans le Nord et le Centre, ce serait également le cas en été et en automne. Comme pour les températures, les hausses devraient être plus importantes pour les précipitations extrêmes que pour les moyennes. D'ailleurs, les modèles climatiques s'accordent sur des tendances futures à la hausse pour tous les indices de précipitations abondantes ou extrêmes partout au Québec, bien que les augmentations soient plus substantielles dans le Nord. Ce sera le cas de la quantité maximale annuelle de précipitations, et pour toutes les durées et toutes les récurrences. À titre d'exemple, un maximum annuel dont la période de retour est de 20 ans sur l'horizon 1986-2005 pourrait survenir plus fréquemment vers 2046-2065 avec une période de retour autour de 7 à 10 ans, et ce, pour l'ensemble du Québec. Des études préliminaires laissent croire que le climat futur sera plus favorable aux orages qui devraient laisser de plus importantes quantités de précipitations. Il n'est cependant pas encore possible d'établir le degré de robustesse de cette projection.

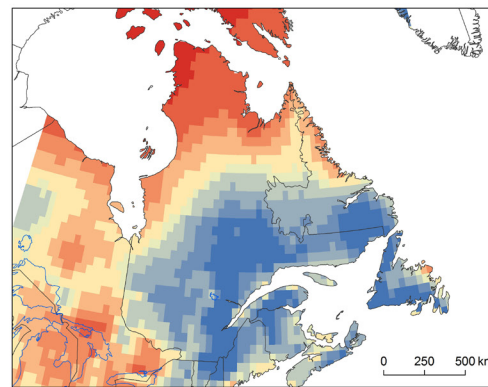
Figure 6 : Précipitations totales observées d'été (JJA : juin, juillet et août) et d'hiver (DJF : décembre, janvier et février) pour la période 1971-2000 (panneau gauche) et projetées (panneaux droits) pour l'horizon 2050 (2041-2070). La moyenne observée est calculée à partir des données CRU TS 3.21 (climatique recherche unité série chronologique, 3.21 est le nom du communiqué). Les cartes futures présentent la médiane de l'ensemble (c'est-à-dire, la médiane de toutes les projections disponibles) ainsi que les 10e et 90e percentiles de 29 scénarios climatiques futurs (c'est-à-dire, les limites inférieures et supérieures). Les scénarios climatiques futurs ont été produits selon la méthode « delta » appliquée aux observations (Charron, 2014), utilisant des simulations CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) (RCP8.5). (Source : Ouranos)

Observations : 1971 à 2000 (CRU TS 3.21)

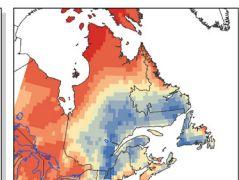


Horizon 2050 : RCP 8.5

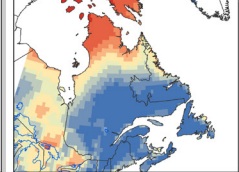
50^e percentile



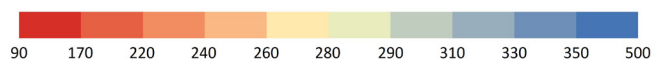
10^e percentile

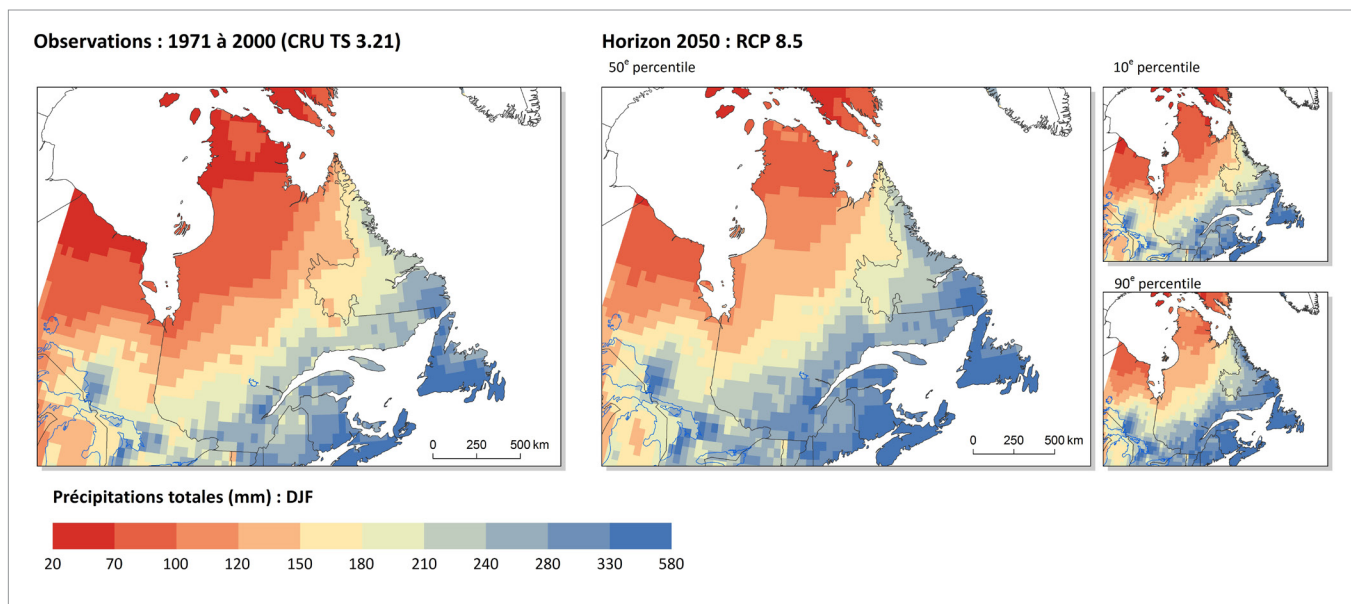


90^e percentile



Précipitations totales (mm) : JJA





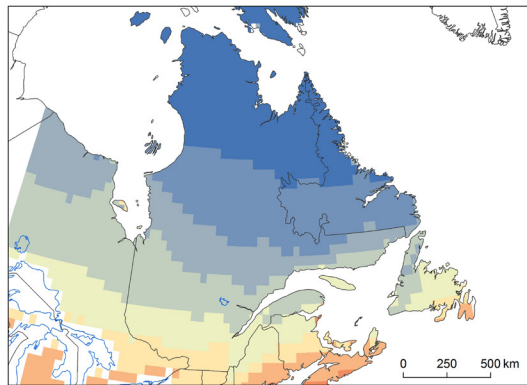
Du côté des précipitations hivernales, les contributions respectives de la neige et de la pluie au cumul total sont évidemment fonction de la température. Compte tenu du réchauffement déjà observé au cours de l'hiver, on remarque une tendance à la baisse des précipitations sous forme de neige pour le Sud du Québec. D'ailleurs, selon une analyse de plusieurs sources de données, la durée de l'enneigement a diminué d'environ 2 jours par décennie pour le Sud du Québec au cours de la période 1948-2005.

Bien que le nombre de chutes de neige devrait diminuer, en lien notamment avec une saison de gel plus courte, les événements de pluie en hiver devraient augmenter (voir figure 6). La façon dont le couvert de neige réagira aux tendances variera selon les régions, en fonction de l'altitude, du régime climatique, du type de surface et de la végétation. Par rapport à la moyenne de 1970-1999, la durée de l'enneigement pour la période 2041-2070 pourrait diminuer jusqu'à 25 jours dans le Nord du Québec, de 25 à 45 jours dans le Centre, de 45 à 75 jours pour le golfe du Saint-Laurent et de 45 à 65 jours pour le Sud du Québec.

Quant au verglas, qui touche particulièrement la vallée du Saint-Laurent en raison de sa morphologie et de son orientation (Ressler et coll., 2012), la compréhension des conditions météorologiques propices à la formation de ce phénomène a beaucoup progressé, mais il demeure incertain si le nombre, la durée et l'intensité des épisodes de verglas changeront au Québec dans les décennies à venir.

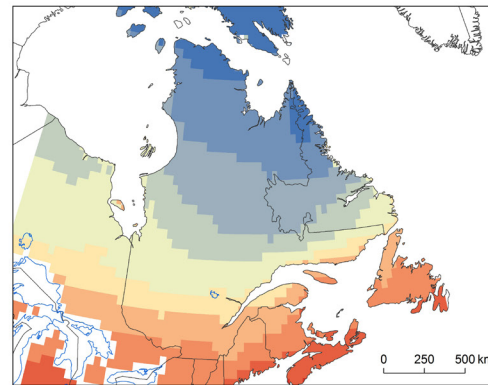
Figure 7 : Durée de l'enneigement observée pour la période 1999-2010 (panneau gauche) et projetée (panneaux droits) pour l'horizon 2050 (2041-2070). La moyenne observée est calculée à partir des données IMS 24 (IMS Ice mapping System 24 km resolution) (National Ice Centre, 2008). Les cartes futures présentent la médiane de l'ensemble (c'est-à-dire, la médiane de toutes les projections disponibles) ainsi que les 10^e et 90^e percentiles (c'est-à-dire, les limites inférieures et supérieures) de 19 scénarios climatiques futurs. Les scénarios climatiques futurs ont été produits selon la méthode « delta » appliquée aux observations (Charron, 2014), utilisant des simulations CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase) (RCP8.5). (Source : Ouranos)

Observations : 1999 à 2010 (IMS)

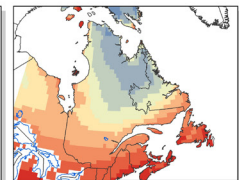


Horizon 2050 : RCP 8.5

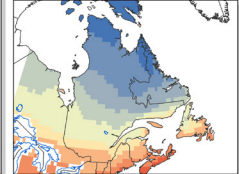
50^e percentile



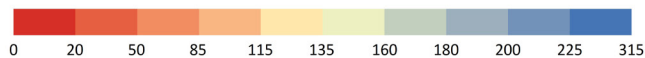
10^e percentile



90^e percentile



Durée de l'enneigement (jours)



3.3 DES INCERTITUDES CONCERNANT LES VENTS

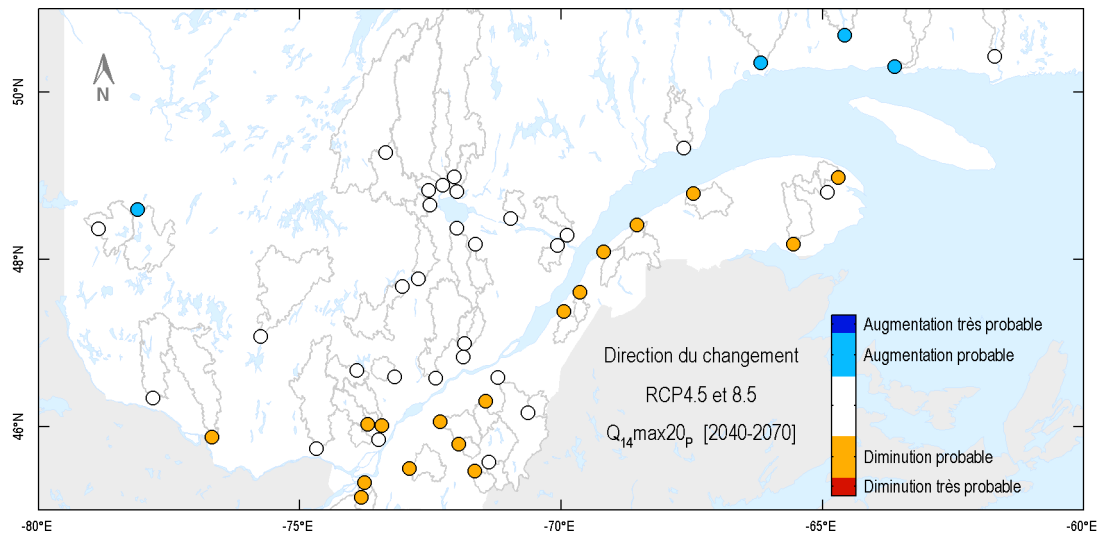
La vitesse moyenne des vents observés pour la grande majorité des stations varie très peu d'une saison à l'autre. À l'exception de quelques stations qui présentent de faibles tendances à l'augmentation, la majorité des stations québécoises présentent plutôt une tendance à la diminution de la vitesse moyenne des vents tout au long de l'année entre 1953 et 2006.

Les projections futures des vents demeurent incertaines, car peu d'études sur ce sujet existent. Des analyses supplémentaires basées sur un plus grand nombre de simulations climatiques à de plus fines résolutions seraient requises.

3.4 DES VARIATIONS DES DÉBITS MOYENS DES RIVIÈRES

Une tendance à la hausse est attendue pour le débit moyen des rivières en hiver pour l'ensemble du Québec pour l'horizon 2041-2070. À l'inverse, pour le même horizon dans le Sud du Québec, des baisses de débits moyens sont attendues en été, au printemps et à l'automne bien que le consensus entre les modèles soit moins élevé. La figure 8 montre les changements attendus quant aux volumes des crues printanières, lorsque la fonte de la glace et de la neige augmente le débit d'eau dans les rivières. Le lecteur est invité à consulter l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2015) pour de plus amples informations.

Figure 8 : Pointe des crues printanières, débit journalier, récurrence 20 ans. (Source : Centre d'expertise hydrique du Québec) L'indicateur hydrologique $Q_{14,max20_p}$ donne une indication du volume des crues de récurrence de 20 ans au printemps.



3.5 LE NIVEAU RELATIF DE LA MER

Les fluctuations du niveau relatif de la mer varient à des échelles plus régionales en fonction de plusieurs facteurs dont les courants marins, la circulation atmosphérique, la densité de l'eau de mer (qui est elle-même fonction des températures en surface, mais aussi de l'apport d'eau douce par des cours d'eau ou la fonte de glace), la proximité des calottes et glaciers (effets gravitationnels) ou d'autres phénomènes géophysiques (effets rotationnels). Certains phénomènes se combinent en s'annulant ou bien fluctuent dans le temps à des échelles interannuelles et parfois décennales, faisant en sorte qu'il est plus difficile de détecter des tendances significatives. Ainsi, la hausse du niveau relatif de la mer affectera l'estuaire marin et le golfe du Saint-Laurent. Dans la baie d'Hudson, on s'attend plutôt à une baisse du niveau relatif de la mer, car le fort ajustement isostatique postglaciaire dans ce secteur atténue la hausse du niveau de la mer. Le lecteur est invité à se référer aux chapitres 3 et 8 pour plus de précisions à ce sujet.

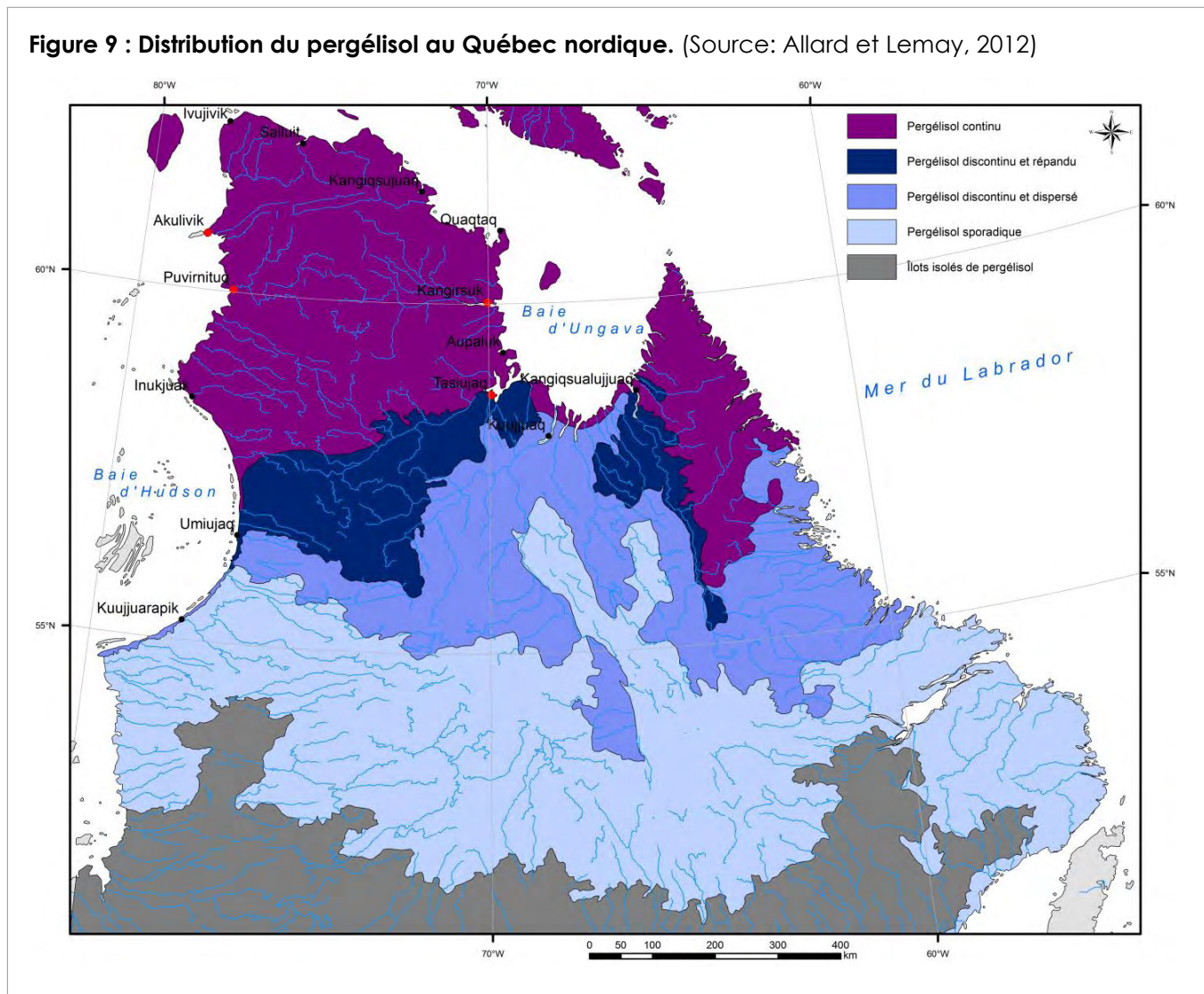
3.6 UNE PERTE PROGRESSIVE DU COUVERT DE GLACE

Le réchauffement des températures aura aussi un effet sur le couvert de glace (voir chapitre 3). Plus spécifiquement pour le Québec, une étude sur l'estuaire marin et le golfe du Saint-Laurent montre que l'englacement a diminué entre 1998 et 2012. Malgré le fait que la variabilité interannuelle est très grande, la saison des glaces est plus courte que par le passé (Senneville et coll., 2014). Cette même étude révèle aussi que le pourcentage d'englacement maximum dans cette région a aussi diminué, passant d'environ 47 % (1968-1998) à 36 % (1998-2013).

Ces tendances sont appelées à se poursuivre et les projections indiquent un englacement qui arriverait environ 10 à 20 jours plus tard tandis que la fonte pourrait être devancée de 20 à 30 jours pour l'horizon 2041-2070 par rapport à la période 1982-2011 dans la région du golfe Saint-Laurent. Quant à la Baie d'Hudson, la période libre de glace pourrait s'allonger de plus de deux mois vers l'horizon 2041-2070. Les autres régions du Québec seront aussi affectées, mais les études existantes ne permettent pas de déterminer l'ampleur des changements attendus.

3.7 LE PERGÉLISOL AFFECTÉ

Le Nord de la province a la particularité d'être situé en zone de pergélisol tel qu'indiqué à la figure 9. Le pergélisol est très sensible au réchauffement des températures et aux modifications du régime des précipitations (voir chapitre 3).



Ces conditions affectent le secteur des transports à différents niveaux. La section suivant décrit plus en détail les principales vulnérabilités pour les différents modes de transport au travers du territoire québécois.

4.0 VULNÉRABILITÉS DES TRANSPORTS FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU QUÉBEC

Si l'aperçu du climat projeté permet de constater que toutes les régions du Québec peuvent s'attendre à une hausse des températures et à des événements de précipitations plus sévères, les conséquences affecteront différemment l'ensemble des activités économiques, y compris le secteur des transports, tant les infrastructures elles-mêmes que la mobilité. Les événements météorologiques extrêmes constituent vraisemblablement un des plus grands risques pour toutes les régions du Québec. De plus, au Québec, le cadre bâti est vieillissant et certaines infrastructures de transport atteignent la fin de leur vie utile ou nécessitent des travaux de réhabilitation considérables (Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes, 2012). Elles peuvent ainsi être plus vulnérables aux impacts des changements climatiques.

Les sections suivantes présentent les principales vulnérabilités climatiques recensées en ce qui concerne les transports routier, maritime, ferroviaire et aérien au Québec. Une section concerne aussi les réseaux de télécommunications dont tous ces modes de transport dépendent. Les vulnérabilités décrites sont celles des infrastructures, mais aussi des opérations et de la gestion des services de transport plus généralement. Il existe davantage d'informations sur le transport routier, ce qui signifie à la fois l'importance de ce mode de transport du point de vue de la part modale, mais aussi les efforts de recherche et développement consentis.

4.1 TRANSPORT TERRESTRE

4.1.1 Les vulnérabilités du transport routier dans le sud du Québec et le long du Saint-Laurent

Sur le territoire qui s'étend à l'est de Québec jusqu'à la Basse-Côte-Nord (couvre le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie et les Îles-de-la-Madeleine), les routes et les villages sont implantés le long de la côte. Un tiers de la population de cette région et près de 60 % des routes nationales de ce secteur sont situés à moins de 500 mètres du rivage (Drejza et coll., 2014; Boyer-Villemare et coll., 2014). Certaines portions de la route 132 longeant toute la rive sud du Saint-Laurent, de la frontière américaine à l'ouest de Montréal jusqu'à Gaspé, se situent à une distance de la berge qui varie entre quelques mètres et quelques dizaines de mètres (McHugh et coll., 2006).

Au 20^e siècle, cette proximité du fleuve était perçue comme favorable tant pour le transport, l'approvisionnement en ressources naturelles, et les activités d'exploitation de la mer. Cependant, l'implantation des routes et des équipements en bordure du Saint-Laurent se présente aujourd'hui comme un facteur aggravant leur vulnérabilité (Drejza et coll., 2015). Le réchauffement des températures moyennes annuelles et, surtout, la hausse des températures hivernales relevées depuis les années 1980 (Bernatchez et coll., 2008; Bernatchez, 2015; Savard et coll., 2008) entraînent diverses conséquences telles une réduction du couvert de glace, une hausse du niveau marin relatif et une accélération des processus cryogéniques, qui contribuent à l'érosion (Bernatchez et coll., 2011; Bernatchez, 2014; Bernatchez et coll., 2015; Boyer-Villemare et coll., 2014). Plus de la moitié des côtes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent sont sensibles à l'érosion (Drejza et coll., 2015). Le long de la zone côtière de l'estuaire et du golfe, 294 kilomètres de routes sont considérés à risque pour l'horizon 2065 (Bernatchez et coll., 2015). L'accroissement du cadre bâti le long de l'estuaire du Saint-Laurent augmente l'ampleur des impacts (Bernatchez et Fraser, 2011; Bernatchez et coll., 2015; Ouranos, 2015).

En effet, les impacts des changements climatiques se font déjà sentir sur les infrastructures routières (Drejza et coll., 2014). Plusieurs études révèlent que les problèmes d'érosion ont requis des investissements considérables pour déplacer des routes ou construire des ouvrages de protection (Ouranos, 2015; Bernatchez et coll., 2015; Da Silva, 2016).

Les cycles gel-dégel sont aussi à l'origine de l'érosion de plusieurs falaises rocheuses de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, dans le Québec méridional (Bernatchez et coll., 2014) (*voir encadré érosion littorale Îles-de-la-Madeleine*), surtout en plein cœur de la saison froide (janvier et février) en

contribuant à l'expansion de l'eau contenue dans le sol, dans les falaises ou dans les revêtements des routes, qui peut provoquer des fissures, de la fragmentation, le détachement de falaises ou des coulées boueuses (Boucher-Brossard et Bernatchez, 2013; Drejza et coll., 2015). Si les revêtements sont habituellement conçus pour résister au gel pendant environ quatre mois et pour recevoir d'importantes quantités de neige et de fondants, une fonte rapide de la neige et de la glace rend ces revêtements plus vulnérables. De plus, les épisodes de redoux, dont l'incidence devrait augmenter (Ouranos, 2015), accélèrent et accentuent la déformation de la chaussée (Chaumont et Brown, 2010; Doré et coll., 2014). Les chaussées voient actuellement leur durée de vie utile réduite en raison notamment du phénomène de fissuration qui laisse pénétrer les eaux de pluie et augmente, conséquemment, le niveau de saturation des sols et des matériaux de chaussée (Masseck, 2014).

L'élévation du niveau relatif de la mer d'une quarantaine de centimètres depuis le début du 20^e siècle expose plusieurs portions¹⁰ du réseau routier québécois, notamment le long de l'autoroute 20 et de la route 132 (Frejza et coll., 2015; Bernatchez et Fraser, 2011). L'élévation du niveau relatif de la mer, entre autres, diminue la stabilité des sols où sont établis les bâtiments, les infrastructures et les routes du Québec (Bernatchez, Boucher-Brossard, G. et Sigoin-Cantin, 2012). Du même coup, elle a un impact sur les infrastructures de transport et, conséquemment, sur le système d'approvisionnement et de la mobilité. L'accélération de ce phénomène est également susceptible d'accroître les risques de submersion des routes par les ondes de tempêtes dans le corridor du Saint-Laurent (Savard et coll., 2016; Lemmen et coll., 2008 ; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013). Le problème d'attaque des vagues et des ondes de tempêtes sur les côtes québécoises le long du golfe et jusqu'à l'estuaire moyen sera aussi aggravé par le fait que les côtes seront de moins en moins protégées par un couvert de glace qui diminuera de façon importante. En plus, les épisodes de submersion pourraient devenir de plus en plus fréquents et intenses et toucher des espaces qui étaient jusqu'ici peu affectés. Sans mesure d'adaptation qui respecte la géomorphologie de la côte, l'érosion continuera d'affecter le système naturel, l'intégrité de l'environnement bâti et la qualité de vie de la plupart des collectivités vivant en zone côtière (Bernatchez, 2015; Ouranos, 2015).

L'enrochement¹¹, comme les murs de protection, les épis, etc. sont des mesures de protection qui renforcent le sentiment de sécurité de la population (Cooper et Pile, 2014; Friesinger et Bernatchez, 2010; Linham et Nicholls, 2010). Cela dit, ces méthodes sont coûteuses et peuvent constituer un facteur de dégradation de certains talus naturels et de certaines plages (abaissement, rétrécissement, etc.), surtout si elles sont utilisées pour protéger les talus en zone meuble (Bernatchez et coll., 2008 ; Bernatchez, 2015). Là où les matériaux sont meubles, l'enrochement réduit la capacité d'absorption de l'énergie des vagues de tempêtes que possèdent naturellement les plages. Il est alors susceptible d'accentuer l'érosion (Drejza et coll., 2014; Bernatchez et coll., 2011; Bernatchez et Fraser, 2011) et les enrochements et autres structures artificielles linéaires provoquent aussi des effets de bouts à leurs extrémités. La turbulence occasionnée par l'arrivée d'eau aux extrémités d'un ouvrage gruge le sol des propriétés voisines non protégées (Bernatchez et Fraser, 2011). Dans les régions de Sept-Îles et de Percé, la largeur des plages a connu une réduction de 85 % et de 44 % respectivement là où les lignes de rivage ont été artificialisées par une structure rigide de protection (Bernatchez et Fraser, 2011).

D'autres effets des changements climatiques pour les infrastructures terrestres sont liées à la hausse de l'intensité des précipitations pluvieuses en hiver qui peut générer des impacts négatifs, notamment pour la gestion des eaux de ruissellement (Groleau et coll., 2007). Par exemple, sur le territoire du littoral, les systèmes actuels d'évacuation des eaux de drainage des routes peuvent parfois contribuer à former des ravins au sein desquels se concentrent les eaux (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2012) et ce qui peut déclencher des glissements de terrain et accélérer l'érosion. En revanche, dans le sud de la province, autour de la vallée du Saint-Laurent, la hausse des températures moyennes et la modification du régime des précipitations pourraient avoir comme impact positif de réduire l'enneigement des routes et se traduire par une modification à la baisse des coûts associés au déneigement et au déglacement des routes (Webster et coll., 2008).

¹⁰ Une portion de route correspond à un itinéraire routier. Elle peut être régionale ou locale.

¹¹ L'enrochement est une mesure d'adaptation consistant à placer des pierres de tailles différentes sur une pente douce, afin d'absorber et de dissiper l'action des vagues avant que celles-ci n'atteignent le rivage (Circé et cie, 2016).

D'autres effets des changements climatiques pour les infrastructures terrestres sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Synthèse de certains effets des changements climatiques sur les chaussées. Adapté de Thiam (2014)

Causes	Possibles effets sur les chaussées
Augmentation de la température dans les régions froides et augmentation du nombre de redoux hivernaux	Diminution de l'indice de gel en hiver, diminution de la profondeur du gel qui résulte en moins de détérioration des chaussées due au soulèvement et diminution de la fissuration thermique Possible augmentation des dommages dus au dégel partiel des fondations (ornièrage et fissuration et affaiblissement des chaussées)
Augmentations des températures chaudes extrêmes	Augmentation des ornières de fluage
Augmentation de la disponibilité de l'eau durant les saisons estivales	Augmentation du niveau de la saturation de l'eau dans le sol provoquant un affaiblissement des couches structurales et diminution de la durée de vie Augmentation des ornières (Korkiala-Tantuu et Dawson, 2007)
Augmentation de la fréquence et de l'intensité des pluies extrêmes	Augmentation de la teneur en eau dans les sols de chaussées immédiatement après les pluies Augmentation de la teneur en eau dans les chaussées et réduction de leur rigidité

4.1.2 Les vulnérabilités du transport terrestre au Nunavik

Les infrastructures de transport dans les villages nordiques sont construites sur du pergélisol continu, discontinu ou sporadique (voir figure 10 au chapitre 3). Le dégel du pergélisol, attribuable surtout au réchauffement de la température, mais aussi à la gestion de la neige et au drainage, contribue à la perte de l'intégrité structurelle des routes (Doré et coll., 2014; Ouranos, 2015). Les tassements différentiels associés au dégel du pergélisol et leurs conséquences structurelles sur les remblais, notamment, affectent les réseaux de drainage et modifient leur intégrité (Beaulac, 2006; Dumais et Doré, 2013) en provoquant des fissures ou des tassements qui nécessitent des travaux d'entretien plus fréquents, comme c'est le cas pour les routes d'accès à l'aéroport d'Umiujaq (figure 10) et de Salluit.

Le réchauffement climatique affecte aussi la mobilité des populations locales du Nunavik. Les lacs et cours d'eau gelés offrent, durant l'hiver, diverses possibilités de déplacements en véhicule tout terrain, en motoneige et en traîneau à chiens. La période de gel devenant plus courte, ces possibilités sont réduites (Tremblay et coll., 2006; Nickels et coll., 2005; Bernier et coll., 2014). La modification des conditions de glaces et la diminution de la période de présence de glace complexifient l'accès aux ressources naturelles et aux sites d'activités de subsistance (Clerc et coll., 2011; Tremblay et coll., 2006). L'accès aux territoires de chasse, cueillette et pêche est essentiel pour les communautés nordiques et pour l'économie locale. Des sentiers alternatifs peuvent être empruntés, mais cette modification de l'utilisation traditionnelle du territoire réduit, pour la population, la possibilité d'exploiter des ressources nutritionnelles de qualité (Barrett, 2013). Au surplus, l'expérience et le savoir local ne permettent plus d'anticiper avec autant de fiabilité l'état de la glace ou de la neige pour prévoir et organiser les déplacements (Nickels et coll., 2005; Samson et coll., 2013). Ces conséquences sont susceptibles d'affecter l'identité culturelle et la santé des populations nordiques, en plus d'affecter le développement économique.

Figure 10 : Tassements importants sur la route d'accès, Umiujaq. (Source : Allard, M., Fortier, R., Sarrazin, D. et coll., 2007)



4.1.3 Les événements météorologiques extrêmes et le transport routier

Les événements météorologiques extrêmes affecteront également le transport routier dans l'ensemble des régions. Des événements tels les précipitations intenses, les tempêtes et les écarts de température (les cycles de gels-dégels), provoquent l'usure accélérée des infrastructures routières (Auld et MacIver, 2005; Case, 2008; Larrivée, 2010). Par ailleurs, lorsque la durée de vie utile de ces infrastructures est avancée, celles-ci deviennent plus vulnérables aux événements météorologiques extrêmes (Ouranos, 2015). Les besoins d'entretien des routes pourraient augmenter. L'intégrité et la performance des ponceaux et des ponts peuvent aussi être affectées.

Au Nunavik, l'augmentation de l'occurrence d'événements météorologiques extrêmes entraînera des impacts au niveau des transports. Certains événements (blizzard, vent, enneigement) ont pour conséquence de réduire la visibilité, affectant la conduite et la sécurité des déplacements terrestres, occasionnant des délais et isolant les communautés des services essentiels.

Les événements météorologiques extrêmes peuvent également isoler les collectivités, en particulier celles qui dépendent d'un seul mode de transport. L'absence d'alternatives de transport contribue à la vulnérabilité de la population de ces régions. À titre d'exemple, les fortes vagues et les surcotes produites par les vents violents qui ont touché les rives du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie, des Îles-de-la-Madeleine et de la Côte-Nord les 5 et 6 décembre 2010 ont généré, à Rimouski, un niveau de la marée de 5,54 mètres par rapport au zéro des cartes, soit une ampleur exceptionnelle (Quintin et coll., 2013). La tempête a inondé plusieurs routes, dont les routes 132, 199, 299, 198, et les a rendues impraticables à la circulation. L'assaut des vagues et les fortes pluies ont détérioré la chaussée, certains murs de soutènement, les approches des murs et des ponceaux (voir la figure 11). Sur la base d'un calcul des coûts de remplacement par kilomètre et tenant compte de la situation géographique et des protections côtières existantes (Bernatchez et coll., 2015), les dommages ont été estimés à plusieurs millions de dollars et plusieurs centaines de personnes ont dû être évacuées (St-Amour, 2011). Cette tempête hivernale témoigne des effets possibles de la combinaison de facteurs comme la diminution du couvert de glace, l'élévation du niveau relatif de la mer, la direction des vents et des tempêtes sur l'environnement naturel et le milieu bâti.

Figure 11 : Détérioration majeure de la chaussée de la route 132, en Gaspésie, en décembre 2010.
(Source : Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec)



Les surcotes de tempête correspondent au rehaussement de la mer au-dessus de la marée astronomique lors des fortes tempêtes. L'effet de surcotes plus fréquentes pourra accentuer les phénomènes de submersion marine et l'érosion des environnements naturels comme les plages et les cordons dunaires. Les tempêtes peuvent également entraîner la rupture de digues, de barrages et autres ouvrages hydrauliques (Bernatchez et coll., 2012).

Les forts vents auxquels sont exposées les plages sablonneuses durant de longues périodes, au printemps et à l'automne, transportent le sable et contribuent au déplacement des dunes. Cela affecte l'entretien de la route aux Îles-de-la-Madeleine.

En ce qui concerne les feux de forêt, la température, la vitesse et la direction du vent, l'humidité relative, les précipitations et la stabilité atmosphérique sont les principaux facteurs météorologiques pouvant les affecter (Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, 2009). Ces facteurs varient dans l'espace et dans le temps : ils porteront vraisemblablement plus fortement atteinte au nord-ouest de la province (Boulanger et coll., 2013). La partie du réseau routier qui se situe sous la limite attribuable de la forêt commerciale dessert essentiellement les industries exploitantes. Les feux provoqués par la foudre peuvent avoir des impacts majeurs sur l'accès routier aux ressources et, du même coup, sur la vitalité des activités de ces industries et des communautés qui en dépendent.

En 2013, ce sont plus de 84 feux qui ont été combattus par la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) (2014). Durant l'été de cette même année, d'importants feux à la limite nord des forêts attribuables ont nécessité la protection des communautés d'Eastmain et de Baie-Johan-Beetz. Dans la région de la Baie-James, la seule route reliant Matagami et Radisson fût fermée sur plus de 300 kilomètres, nécessitant l'évacuation de plusieurs centaines de travailleurs et laissant des communautés isolées par les flammes (Gouvernement du Québec, 2013; voir figure 12).

D'autres types de perturbations au transport routier sont associés aux événements météorologiques extrêmes. Le déracinement d'arbres peut perturber l'accès à la route

Figure 12 : Feu de forêt à Chibougamau en 2005. (Source : Société de protection des forêts contre le feu)



par la présence de débris. Également, la planification des transports et de l'entretien des routes pourrait être perturbée en raison de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, celles-ci pouvant exposer les travailleurs à des maladies et des lésions professionnelles (comme par exemple, des coups ou des crampes de chaleur, de l'épuisement) (National Institute for Occupational Safety and Health, 2016). Les mesures recommandées pour réduire le stress dû à la chaleur en milieu de travail comprennent des contrôles d'ingénierie (par exemple, l'utilisation de panneaux ou de barrières réfléchissants ou absorbants la chaleur) et de bonnes pratiques de travail (formation, hydratation, périodes d'acclimatation, et des pauses de repos) (National Institute for Occupational Safety and Health, 2016); Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail, 2016).

4.2 TRANSPORT MARITIME

Certaines infrastructures maritimes datent de plusieurs décennies, à l'exception des infrastructures nordiques qui ont été mises en place au tournant des années 2000 par les gouvernements provincial et fédéral et les administrations locales (Clerc et coll., 2011; Ministère des Transports du Québec, 2011). Le vieillissement des infrastructures, combiné au réchauffement des températures, à la diminution du couvert de glace et à la fréquence et l'intensité accrue des événements météorologiques extrêmes, pourrait augmenter la vulnérabilité du transport maritime.

4.2.1 Le transport maritime dans le corridor du Saint-Laurent

Les études scientifiques divergent quant à l'effet précis des changements climatiques sur la fluctuation des débits et niveaux d'eau entre le lac Ontario et le Saint-Laurent. En raison, notamment, des nombreuses interventions humaines (bâtiments, régulation des niveaux d'eau, etc.), il est difficile d'établir l'ampleur attendu des fluctuations des débits et les niveaux associés (Bouchard et Cantin, 2015). Cela dit, les simulations de l'effet des températures plus élevées sur l'évaporation des Grands Lacs convergent vers une baisse possible des niveaux et des débits dans la partie fluviale du Saint-Laurent (Bouchard et Cantin, 2015). À l'inverse, dans la partie aval du Saint-Laurent, soit dans l'estuaire et le golfe, le réchauffement climatique entraînerait plutôt une hausse des niveaux d'eau.

Dans le secteur de Montréal, où passent en moyenne 2 200 bateaux chaque année et où transitent annuellement plus d'un million de conteneurs équivalent vingt pieds (EVP) (Port de Montréal, 2015), cette baisse pourrait être de l'ordre de 0,5 à 1,0 mètre (Croley, 2003; Fagherazzi et coll., 2004; Lefavre, 2005; Roy et Boyer, 2011). Ces baisses pourraient avoir comme conséquence d'entraîner une diminution du nombre de navires de type porte-conteneurs faisant escale au Port de Montréal (Slack et Comtois, 2016).

Les changements attendus quant aux débits et niveaux d'eau affecteront le trafic maritime, mais aussi l'ensemble du système intermodal de transport des marchandises qui s'organise autour du Port de Montréal. D'un autre côté, la hausse des températures peut également être considérée comme une occasion d'affaires pour le Port de Montréal, qui pourrait bénéficier du prolongement de la saison de navigation commerciale en amont qui s'étend actuellement de la fin du mois de mars à la fin du mois de décembre.

Les mouvements de marées et le déplacement des glaces associés à la hausse des températures ont une incidence sur le transport sédimentaire et l'ensablement et pourraient exiger des ajustements dans la gestion et l'entretien des voies navigables et des infrastructures maritimes. Ce transport des sédiments est susceptible d'affecter la navigation dans tout le corridor du Saint-Laurent. À certains endroits stratégiques, l'accumulation des sédiments peut réduire le niveau d'eau et former un obstacle à la navigation, ce qui pourrait augmenter le besoin de dragage des chenaux et autour des infrastructures maritimes (Slack et Comtois, 2016).

Les projections climatiques indiquent aussi qu'à l'horizon 2040-2070 (par rapport à la période 1982-2011), l'englacement sera plus tardif de 10 à 20 jours dans l'estuaire et dans le golfe, en plus d'une fonte plus hâtive de 20 à 30 jours (Senneville et coll., 2014). Par conséquent, la période où les

glaces recouvrent traditionnellement le Saint-Laurent (les mois de janvier, février et mars) pourrait être considérablement réduite. Les glaces protègent les côtes contre l'érosion des vagues et des tempêtes. Si une réduction de la période d'englacement peut bénéficier à la navigation, l'absence ou la réduction du couvert de glace fera en sorte que l'impact des vagues et des tempêtes agira sur les côtes, même en hiver (Bernatchez et coll., 2015; Bernatchez et coll., 2010; Savard et coll., 2008). Aussi, l'empilement des glaces le long des infrastructures maritimes, causé par les forts vents et les courants marins, pourrait contribuer à accélérer la dégradation de ces installations.

La circulation des traversiers est elle aussi contrainte par la formation des glaces. Quand celles-ci se forment rapidement, les services de déglçage de la garde côtière canadienne peuvent être requise, ou encore les services pour certaines communautés doivent être assurés par des transports aériens (Société des traversiers du Québec, 2014). Voir notamment le chapitre 6, l'étude de cas 4 : « Niveaux d'eau, retrait de la glace et gestion adaptative à la Corporation de Gestion de la Voie Maritime du Saint-Laurent ».

4.2.2 Le transport maritime au Nunavik

Les changements climatiques affecteront le régime des tempêtes et le couvert de glace dans la baie d'Hudson et, par conséquent, le régime des vagues, les niveaux d'eau extrêmes et le régime hydrique des bassins versants côtiers (Clerc et coll., 2012; Savard et coll. 2016). La principale cause des dommages aux infrastructures maritimes est l'arrivée de fortes vagues associées au passage des tempêtes. Les dommages se produisent souvent lors de conditions extrêmes qui sont rares, mais très intenses et qui résultent de la combinaison de plusieurs phénomènes (p. ex., fortes vagues et niveaux d'eau extrêmes causés par la superposition de marées de vives eaux et d'une onde de crue de tempête) (Ouranos, 2015). Des études sont présentement en cours pour quantifier précisément la vulnérabilité des infrastructures maritimes du Nunavik face aux changements climatiques.

4.3 TRANSPORT FERROVIAIRE

De façon générale, il y a peu de documentation sur les vulnérabilités du transport ferroviaire au Québec face aux changements climatiques. Le système de gestion du réseau ferroviaire, qui fait interagir des acteurs privés avec des représentants de différents niveaux de gouvernement (local, provincial et fédéral) au sein de cadres institutionnels internationaux (Canada et États-Unis), contribue à complexifier la découverte de vulnérabilités propres aux infrastructures québécoises. Néanmoins, il est clair que tout impact sur le système ferroviaire a des répercussions énormes sur toute la logistique de transport de marchandises au Canada (QGI Consulting, 2009). Voir le chapitre 5 pour plus d'information sur ces enjeux.

La gestion des eaux de ruissellement en bordure des voies ferrées est une préoccupation majeure (AREMA, 2003). Les événements météorologiques extrêmes et les épisodes de forte pluie peuvent causer des problèmes de drainage et d'érosion. Ils augmentent les risques de bris du système par rupture des communications. Par exemple, un épisode de fortes pluies en 2010 est venu éroder la terre sous les rails d'un tronçon de la voie du chemin de fer de l'entreprise Arcelor Mittal. En plus d'empêcher les trains de circuler, l'érosion a causé une rupture des fils optiques assurant la communication sur le système. Ces événements météorologiques extrêmes peuvent également augmenter les risques d'obstruction des voies par des débris. Les événements météorologiques extrêmes et la pluie intense seront plus fréquents et/ou plus intenses avec le réchauffement du climat (Ouranos, 2015), ce qui augmentera la vulnérabilité du transport ferroviaire au Québec.

Des tests de frein sont aussi fréquemment effectués lors d'intempéries. En outre, dans certains secteurs, au centre de la province particulièrement, le personnel doit demeurer sur place et dans les camps d'accueil du personnel, lors de tempêtes violentes. Les opérations d'entretiens sont alors suspendues. Des retards, associés au temps requis pour faire les inspections, et des coûts d'entretien supplémentaires sont à prévoir en fonction de la hausse de la fréquence de tels événements (Gouvernement du Québec, 2015).

Les facteurs climatiques qui contribuent à déclencher des glissements de terrain (pluies abondantes, fonte rapide des neiges et autres phénomènes appelés à augmenter au fur et à mesure que le climat se réchauffe) ont tendance à accroître la vulnérabilité du système ferroviaire. Ceci serait particulièrement important dans les zones sensibles aux glissements de terrain, comme les zones argileuses de la vallée du Saint-Laurent où les caractéristiques du sol interagissent avec l'utilisation du territoire et accentuent la vulnérabilité du système de transport ferroviaire.

Tout comme le transport routier, le transport ferroviaire subit les impacts des feux de forêt provoqués par la foudre. Les impacts économiques des feux sont particulièrement importants pour le réseau au centre de la province qui est peu redondant. En 2013, la compagnie Arcelor Mittal Mines Canada, qui exploite des voies ferrées au Québec et qui compte trois camps d'accueil du personnel, a vu ses activités contraintes pendant plusieurs jours à proximité de Manic-Cinq en raison des feux et de la fumée. L'accès aux sites industriels, tout comme aux opérations d'entretien général, a été restreint en raison des conditions de visibilité quasiment nulle. En effet, la diminution de la visibilité engendrée par les intempéries (feux, fortes pluies, etc.) rend la conduite de locomotive complexe et dangereuse.

Les modifications des cycles de gel et de dégel affectent aussi l'intégrité des rails et contribuent à réduire la durée de vie de ces infrastructures. Elles participent également au déclenchement d'éboulements, particulièrement problématique sur les rails où le dégagement est minime.

Les rails subissent une certaine expansion durant les épisodes de chaleur extrême et une certaine rétraction lors de vagues de grands froids, mais réagissent relativement bien à ces écarts de températures. Tout de même, en contexte de forte variation thermique, le phénomène de dilatation peut endommager les rails.

4.3.1 Le transport ferroviaire dans le corridor du Saint-Laurent

L'érosion des berges et les problèmes d'inondation et de submersion, phénomènes accentués par les changements climatiques, affectent les chemins de fer situés sur le littoral comme le Chemin de fer de Charlevoix Inc. et la Société du chemin de fer de la Gaspésie ou encore le long de cours d'eau, comme la Compagnie de chemin de fer de l'Outaouais et le Chemin de fer Québec Central. L'érosion engendre une perte de l'intégrité structurelle du réseau, voire l'interruption complète des activités dans la région touchée. Le glissement de terrain de Gascons en Gaspésie suggère de telles vulnérabilités pour les réseaux ferroviaires dans cette région (Locat et coll., 2013). Aussi, dans les régions de Charlevoix et de la Côte-Nord (autour de SeptÎles notamment), certains tronçons de voie ferrée sont affectés par des enjeux de stabilité des pentes, de géotechnique ou d'éboulis (Leroueil et coll., 2001).

4.4 TRANSPORT AÉRIEN

Les conditions météorologiques, y compris des événements localisés tels les vents violents, les orages et les fortes précipitations, influencent les conditions de vol sur l'ensemble du territoire québécois. Certaines combinaisons de plusieurs événements – pluie verglaçante, suivie de vents forts – rendent les décollages et les atterrissages plus compliqués.

Dans le sud du Québec, le transport aérien effectue de multiples liaisons nationales et internationales, de passagers et de marchandises. Un raccourcissement de la saison de gel ou du nombre d'épisodes de gel et de dégel est attendu pour le sud du Québec, ce qui pourrait réduire les besoins d'organisation et les frais associés à l'entretien des pistes et des avions (Mills, 2004) et avoir un impact positive pour le transport aérien dans la région.

Les villages du Nunavik, ceux des Îles-de-la-Madeleine et dans l'extrême est de la Côte-Nord sont particulièrement vulnérables aux perturbations du transport aérien étant donné qu'ils s'appuient principalement sur ce mode afin d'assurer le transport interrégional.

Les infrastructures aéroportuaires au Nunavik ont été conçues entre 1984 et 1991, en fonction d'un climat stable et sans mesure de protection particulière contre le dégel du pergélisol (Guimond et coll., 2010). Or, le réchauffement des températures et, dans certains cas l'augmentation des précipitations et du ruissellement, contribuent à accélérer le dégel du pergélisol, provoquant des tassements différentiels du sol et endommageant ainsi prématurément certaines infrastructures. L'accumulation de neige en bordure des pistes, comme le long des remblais, agit comme un isolant et réchauffe le sol, contribuant aussi au dégel (Savard, 2006; Guimond et Boucher, 2013). Ainsi, certaines infrastructures montrent des signes de dégradation attribuable au dégel du pergélisol (Guimond et coll., 2010). Les chemins d'accès et les pistes d'atterrissage de cette région pourraient voir leur durée de vie diminuer et, conséquemment, compromettre la sécurité civile et la desserte, en plus de nécessiter des travaux d'entretien supplémentaires. En ce qui concerne les pistes d'atterrissage dans cette région, les épisodes de gel et de dégel compliquent le déglacage et augmentent les coûts d'entretiens.

Les événements météorologiques extrêmes contribuent également à la vulnérabilité des transports aériens au Nunavik. Si peu d'études portent sur les vents, les Quaqtamiut notent tout de même « [...] une recrudescence des vents forts et des tempêtes ces dernières années » (Clerc et coll., 2011). En plus, la durée de vol et, conséquemment, la consommation d'essence fluctuent en fonction des vents (Morris, 2011).

Enfin, le Centre-du-Québec est régulièrement survolé par la Société de protection de la forêt ainsi que par d'autres entreprises de transport aériens qui ont de vols de connexion entre le sud et le nord de la province. Le transport aérien est sensible aux événements météorologiques extrêmes. L'augmentation projetée de l'occurrence de ces événements devrait hausser les besoins d'entretien des pistes et, conséquemment, les coûts associés à la main-d'œuvre, à la machinerie et aux substances pour y faire face. En plus, les feux de forêt et les panaches de fumée dégagés diminuent considérablement la visibilité des avions qui doivent adapter leurs modes de conduite afin d'assurer une certaine sécurité (Transports Canada, 2015, p. 211).

4.5 RÉSEAUX DE DISTRIBUTION ET DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Le transport et la mobilité s'appuient grandement sur les technologies de l'information et les systèmes de communication. Le réseau d'information et de télécommunication peut être touché par les vents violents, les orages, la foudre, le verglas. Même s'il est difficile de savoir comment les changements climatiques feront évoluer la fréquence ou l'intensité de ces conditions spécifiques, les bris et ruptures encourus par ces événements sont susceptibles d'avoir des conséquences sur l'ensemble du système de transport. L'épisode de verglas que le sud du Québec a connu en 1998 constitue un bon exemple de la manière par laquelle une perturbation par des événements météorologiques extrêmes affecte en cascade les différents réseaux (de télécommunications, de services, d'électricité, etc.) et, conséquemment, tout le système de transport (Dupigny-Giroux, 2000).

5.0 MESURES D'ADAPTATION

Les impacts des changements climatiques touchent l'ensemble du territoire québécois, sans égard aux limites administratives ou au partage des compétences. L'adaptation aux changements climatiques repose sur la collaboration des différents ordres de gouvernements et de la société civile québécoise (Ouranos, 2015).

Les changements climatiques auront des effets positifs et des effets négatifs qui affecteront à la fois les coûts de construction et la durée de vie des infrastructures terrestres (Doré et coll., 2014). Plusieurs solutions peuvent contribuer à rendre les infrastructures plus résilientes. Il est surtout important de considérer un ensemble de mesures complémentaires. La modification de la conception peut améliorer (ou maintenir) la performance de la structure. Toutefois, l'intensification de l'entretien

et des méthodes de détection précoce des défaillances peuvent aider à diminuer de manière significative la vulnérabilité des structures. Il demeure important de poursuivre les travaux pour évaluer la performance technique, économique et environnementale des mesures d'adaptation possibles (Doré et coll., 2014; Ouranos, 2015).

Cette section revient sur les plans et projets mis en œuvre au cours des dernières années par le gouvernement du Québec, par les organisations et les administrations régionales et locales et par les entreprises du transport. Il y a relativement peu de documentation sur les actions planifiées et mises en œuvre par le secteur privé pour adapter les infrastructures et les systèmes de gestion et de planification du transport aux changements climatiques.

5.1 MESURES D'ADAPTATION PLANIFIÉES ET MISES EN ŒUVRE PAR LE GOUVERNEMENT DU QUÉBEC

Le gouvernement du Québec s'est doté en 1996 d'un premier Plan d'action sur les changements climatiques (PACC) qui a permis aux instances gouvernementales de commencer à s'outiller pour mieux comprendre les risques climatiques au Québec. Le PACC élaboré pour l'horizon 2006-2012 (99\$ million) visait à donner les moyens à l'ensemble des acteurs gouvernementaux, à la communauté scientifique et aux organisations non gouvernementales de mettre en œuvre des actions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et de s'adapter aux changements climatiques (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2015). Parmi les 26 mesures de ce plan d'action, la mesure 23 concernait spécifiquement le transport et confiait au MTMDET le mandat d'évaluer et de réaliser les recherches permettant de mieux comprendre les phénomènes pouvant avoir des impacts sur le système de transport québécois. Les études réalisées au cours de cette période ont permis d'améliorer la compréhension de l'environnement côtier et son évolution possible sous l'effet des changements climatiques, puis de considérer les enjeux d'érosion et de submersion dans la gestion à long terme des infrastructures exposées. D'autres études ont permis de mieux cerner les problématiques de dégel du pergélisol puis d'intégrer des stratégies appropriées pour la conception, la réfection et la gestion des infrastructures.

En 2012, le gouvernement du Québec s'est doté d'une Stratégie gouvernementale sur l'adaptation aux changements climatiques 2013-2020 (Gouvernement du Québec, 2012a). La Stratégie vise la sensibilisation de la population aux changements climatiques et la mobilisation de plusieurs ministères et collaborateurs, dont le MTMDET, en ce qui a trait à la pérennité et à l'adaptation des infrastructures de transport. Pour améliorer les services offerts à la population et adapter les transports aux changements climatiques, le plan stratégique 2013-2015 de ce ministère soutient des transports. La prise en compte des changements climatiques y occupe une place significative (MTQ, 2013a).

L'importance de la dimension transport est aussi accrue dans l'actuel plan d'action sur les changements climatiques intitulé « Le Québec en action vert 2020 » (Gouvernement du Québec, 2012a). Ce plan, qui s'appuie sur la Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques (Gouvernement du Québec, 2012a), soutient des actions transversales ainsi que des actions spécifiques à la santé, à l'économie, aux infrastructures et à l'environnement naturel. L'aménagement du territoire y est considéré comme une composante clé, permettant de renforcer la résilience des collectivités. La densification urbaine est citée comme un outil permettant de réduire les besoins en infrastructures supplémentaires, comme les routes (Gouvernement du Québec 2012a; Gouvernement du Québec, 2012b). La communication entre la population et les acteurs publics et privés est également vue comme une action transversale en soutien à l'adaptation aux changements climatiques. Le plan prévoit d'ailleurs à ce sujet des « formations spécifiques, des outils de sensibilisation, de transfert des connaissances et d'aide à la décision et de l'assistance technique [...] pour des clientèles cibles » (Gouvernement du Québec, 2012a). Des efforts en ce sens ont d'ailleurs déjà été entamés, notamment auprès des employés du gouvernement.

5.2 MESURES D'ADAPTATION À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET LOCALE

Les connaissances locales et l'implication des communautés sont aussi importantes. Les connaissances et les récits sur les changements dans les modes de déplacement et dans les routes traditionnellement empruntées survenus au fil du temps permettent d'expliquer l'évolution climatique, qui est autrement plus difficile à étayer au moyen de documents (Grimwood et coll., 2012; Samson et coll., 2013).

Des avancées importantes (recherche-action, sensibilisation) ont été réalisées depuis les dix dernières années pour favoriser l'adaptation préventive (Cuerrier et coll., 2015; Bernatchez et coll., 2012; Plante et coll., 2015). Au nord du Québec, par exemple, des mesures d'adaptation ont été mises en œuvre pour faire suite aux premiers signes de dégradation observés sur les infrastructures de transport, avant que les impacts climatiques ne soient trop importants (Guimond et Boucher, 2013).

Depuis 2003, le MTMDET assure le suivi et a instauré un programme de suivi thermique pour les infrastructures aéroportuaires du Nunavik construites sur des terrains sensibles au dégel sous sa compétence (Guimond et Boucher, 2013). Pour appuyer la planification de l'aménagement du territoire, la cartographie des zones de pergélisol des communautés nordiques s'est développée dans la dernière décennie (L'Hérault et coll., 2013). Par le traitement de données provenant d'investigations géotechniques, la cartographie permet de déterminer les zones à éviter, celles qui demandent plus d'informations ou encore des techniques de construction adaptées lorsqu'une zone problématique est inévitable. Une meilleure compréhension des contraintes permet ainsi de prioriser les interventions sur le territoire sur la base des connaissances existantes (L'Hérault et coll., 2013; voir aussi étude de cas 2).

En 2007, 12 communautés ont fait l'objet de caractérisation des sols par le Centre d'études nordiques et d'autres études plus détaillées sont en cours (Allard, Calmels, et coll., 2007; L'Hérault et coll., 2013). Plus spécifiquement, l'impact du réchauffement climatique sur la stabilité des pistes d'atterrissage au Nunavik a fait l'objet de plusieurs études depuis le début des années 2000 (Allard, Fortier, et coll., 2007; Doré et coll., 2014; Allard et coll., 2013). Les chercheurs suggèrent des moyens d'intervention pour maintenir les opérations aériennes. Parmi ceux-ci, notons les travaux d'entretien plus fréquents et l'amélioration de dispositifs de drainage (L'Hérault et coll., 2013).

La collaboration entre le MTMDET et le Centre d'études nordiques a récemment mené au développement d'une stratégie d'adaptation pour l'ensemble de ses infrastructures aéroportuaires vulnérables au dégel du pergélisol (Guimond et coll., 2010). Le suivi en temps réel de l'état des pistes se fait par l'implantation de dispositifs de suivi des températures sur 13 infrastructures aéroportuaires au Nunavik. Des techniques d'adaptation ont été expérimentées sur deux sites problématiques (voir étude de cas 1). La piste d'atterrissage de Kuujuaq a fait l'objet d'une étude de Transports Canada alors que, plus globalement, un suivi régulier est assuré pour vérifier l'état des équipements de transport (aéroports, routes d'accès et infrastructures maritimes).

De plus, chaque municipalité développe un plan directeur d'aménagement et y répertorie les zones constructibles pour assurer la pérennité des infrastructures de transport et des opérations (L'Hérault et coll., 2013). Par ailleurs, des outils de sensibilisation et des guides de bonnes pratiques ont aussi été développés par les administrations municipales afin d'informer les employés et de suggérer des moyens d'actions concrètes pour réduire les impacts des changements climatiques pour les infrastructures (par exemple, le drainage et la gestion des neiges sur les infrastructures terrestres).

ÉTUDE DE CAS 1

ÉTUDE DE CAS 1 : SUIVI DU COMPORTEMENT THERMIQUE DE LA ROUTE D'ACCÈS À L'AÉROPORT DE SALLUIT ET EXPÉRIMENTATION D'UNE MÉTHODE DE DÉTECTION DE LA DÉGRADATION DU PERGÉLISOL EN BORDURE DES STRUCTURES LINÉAIRES DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Une section de la route d'accès à l'aéroport de Salluit au Nunavik est construite sur un pergélisol constitué de dépôts marins riches en glace. Depuis le début des années 2000, on observe sur cette section des dégradations importantes liées au dégel du pergélisol. En 2012, le MTMDET a procédé à la reconstruction de ce tronçon de route afin de maintenir cet accès terrestre sécuritaire et pérenne dans un contexte de changements climatiques. La conception du remblai a été adaptée en y intégrant de nouveaux critères de conception qui visent à favoriser une remontée du plafond du pergélisol. Dans le cadre de ce projet, deux innovations technologiques sont expérimentées, soit l'utilisation d'un câble à fibre optique permettant de détecter des secteurs à risque de dégradation le long de la route et la mise en place d'un remblai muni d'un drain thermique à grande échelle comme solution d'adaptation. Ce projet est réalisé par le MTMDET en collaboration avec le Centre d'études nordiques et le Groupe de recherche en ingénierie des chaussées de l'Université Laval. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/bilan-2012-2013/adaptation.htm>

Le suivi de l'état de l'environnement et des infrastructures est important et plusieurs mesures de gestion (enlever la neige aux abords des routes; nettoyer plus fréquemment les ponceaux; trouver des routes alternatives) et de conception (adoucir la pente des remblais; remplacer les ponceaux) peuvent être mises en œuvre pour diminuer les impacts des risques climatiques (Association des transports du Canada, 2010). Voir le chapitre Territoires nordiques pour des informations additionnelles sur les pratiques d'entretien, de suivi et de construction visant à maintenir l'intégrité des infrastructures construites sur pergélisol.

ÉTUDE DE CAS 2

ÉTUDE DE CAS 2 : BRIS DE BARRAGE ET DÉLUGE DU SAGUENAY

En 1996, des pluies diluviennes s'abattent au Québec et atteignent plus particulièrement la région du Saguenay. Une série d'inondations forcent l'évacuation de 16 000 personnes et détruisent plusieurs routes et ponts, isolant des populations.

À la suite de ces événements, le Centre de géomatique du Québec et le ministère de la Sécurité publique ont implanté un outil de cartographie interactive en ligne (portail GéoRISC) afin de guider les gestionnaires des ouvrages de retenue et limiter les conséquences des bris de barrage et des inondations dans la région. Ce système de gestion (SCORE) est en ligne depuis 2008, donnant ainsi accès en continu aux données descriptives concernant les barrages du Saguenay-Lac-Saint-Jean. La modélisation associée à ces données permet, entre autres, d'envisager les conséquences en cas de rupture des barrages, de reconnaître les impacts des précipitations sur le réseau routier et de planifier les routes alternatives.

En 2013, une chaire de recherche en ingénierie côtière et fluviale a été créée (Gouvernement

du Québec, 2012b). Cette chaire créée au sein de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), avec la collaboration du MTMDET et du MSP, a dirigé diverses recherches sur l'adaptation des critères de conception des ouvrages de protection côtière (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2014). De plus, des études sur la vulnérabilité des infrastructures routières de l'est du Québec ont été menées par la Chaire en géosciences côtières de l'Université du Québec à Rimouski (Drejza et coll., 2014; Drejza et coll., 2015).

Des efforts en cours pour modéliser l'hydrologie des bassins versants du Saint-Laurent contribuent à anticiper les impacts des changements climatiques sur le régime hydrique influençant le transport maritime (Bouchard et Cantin, 2015). Les administrations portuaires et les représentants de l'industrie maritime semblent cependant moins outillés pour anticiper les événements météorologiques extrêmes, tels les tempêtes, les ouragans, etc., qui affecteront leurs activités de façon accrue dans les prochaines années (Slack et Comtois, 2016).

À la suite d'une étude réalisée par l'INRS (Mailhot et coll., 2014), le MTMDET applique depuis 2015 un nouveau facteur de majoration des débits pour les bassins versants de 25 km² de 18 ou 20 % selon les régions du Québec afin de tenir compte des changements climatiques (MTMDET, 2015). Ce facteur de majoration était jusqu'à récemment de 10%. L'utilisation du portail GéoRISC aura aussi contribué à la gestion des ouvrages de retenue (encadré sur étude de cas 2).

Plus localement, sur la base de plusieurs études (voir synthèse dans Savard et coll., 2008) menées conjointement avec le ministère de la Sécurité publique du Québec, l'UQAR, Ouranos et la Ville de Sept-Îles, on a pu mieux comprendre les causes et les facteurs liés à l'érosion des côtes. La municipalité de Sept-Îles a par la suite procédé à un zonage de son territoire pour mieux contrôler les usages en bord de mer et a effectué une analyse coûts/avantages de différentes solutions pour des structures déjà menacées par la perte de terrain côtier. La Ville de Sept-Îles, dont les routes sont sérieusement affectées par l'érosion des berges, a mis en œuvre une stratégie de recharge en sable de ses plages les plus menacées par l'érosion. Elle a également interdit l'enrochement à plusieurs endroits sur son territoire.

De fait, l'enrochement, bien qu'il fasse partie de la liste des ouvrages de protection des routes contre l'érosion, peut se révéler moins avantageux aux plans économique et structurel que des options de protection alternatives selon le type de côte (Bernatchez et Fraser, 2011). Dans le même sens, bien au fait que la recharge en sable, l'enrochement et le surdimensionnement des ouvrages ne peuvent assurer à eux seuls la résilience du milieu côtier à l'accentuation du phénomène d'érosion et à l'augmentation de la fréquence, de la durée et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes, la Ville de Sept-Îles travaille avec la MRC des Sept-Rivières et le gouvernement du Québec à se doter d'un plan d'intervention sur le littoral (Ressources naturelles Canada, 2015). Ce plan servira à déterminer les secteurs les plus à risque et à envisager divers scénarios pour le transfert des équipements et des infrastructures.

Le plan d'intervention des Îles-de-la-Madeleine en sécurité civile, quant à lui, dresse la liste des bâtiments et des routes à risques d'érosion. Il présente quelques scénarios d'intervention et de transfert des infrastructures et des équipements et il détermine les partenaires potentiels, incluant le MTMDET. Le plan souligne également la volonté municipale d'intégrer au plan d'urbanisme une « réglementation d'urbanisme appropriée » (Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, 2010).

En ce qui concerne les feux et leur interférence sur les routes, une étude sur la foudre a été réalisée au Québec par le Service canadien des forêts (Morrisette, 2009). Elle a permis de localiser les événements et de déterminer que la densité des éclairs est plus élevée dans les parties sud et ouest de la province. En 2005, une sécheresse a donné lieu à de nombreux incendies de forêt, forçant l'évacuation d'urgence de près de 1000 résidents de la ville de Chibougamau (Gouvernement du Québec, 2005). Le MTMDET a collaboré avec la SOPFEU et les municipalités du Centre-du-Québec pour améliorer les connaissances quant aux aléas climatiques, incluant les feux de forêt, et aux vulnérabilités des transports associées afin de développer des outils d'aide à la décision et à élaborer des plans d'aménagements visant à assurer la pérennité des infrastructures de transport et des services offerts.

6.0 CONCLUSIONS ET BESOINS FUTURS DE RECHERCHE

Les réseaux de transport jouent un rôle critique pour soutenir la compétitivité économique et la qualité de vie. La forte interdépendance entre ces systèmes rend cependant plus complexes les enjeux associés aux changements climatiques (Ouranos, 2015).

Les changements climatiques vont modifier l'environnement naturel de l'ensemble du territoire québécois. La plupart des zones côtières québécoises vont subir une accentuation de l'érosion, en plus de voir submergés des espaces qui étaient jusqu'ici peu affectés.

Au Nunavik, le dégel du pergélisol contribue à l'affaissement et à la fissuration des routes et des infrastructures aéroportuaires, qui sont essentielles à la desserte des communautés (Transports Canada, 2015). Les techniques d'entretien et de remise en état, de même que les fréquences d'interventions, doivent être modifiées entraînant des coûts importants et des défis additionnels pour leur planification. Dans cette région du Québec, les modifications au couvert de glace et les changements aux régimes de tempêtes affectent aussi de manière importante la mobilité hivernale. La gestion des eaux de ruissellement et le drainage sont aussi affectés par les changements climatiques. Une cartographie caractérisant les zones de pergélisol qui aide à mieux planifier le développement est un outil important pour protéger les infrastructures dans cette région. De nombreux défis subsistent dans le domaine de l'adaptation des infrastructures nordiques, notamment au chapitre du transfert des connaissances, de l'acquisition de données à long terme, de l'utilisation de nouvelles technologies pour optimiser l'acquisition de données et les interventions (Transports Canada, 2015).

En milieu urbain, des pluies fréquentes et plus intenses provoquent des inondations localisées et auront tendance à s'accroître avec les changements climatiques. Une combinaison de mesures pourrait permettre de mieux gérer les enjeux de ruissellement.

Les événements météorologiques extrêmes semblent constituer le plus grand risque pour l'ensemble des infrastructures et des réseaux de transport, et ce, en toutes saisons. La conception, mais aussi tous les aspects d'opération, d'entretien, de gestion et de réhabilitation, sont et seront affectés par les changements climatiques.

L'adaptation est un enjeu social et institutionnel, qui gagne à être traité de façon intégrée. En effet, les impacts des changements climatiques sur les infrastructures ne peuvent pas être examinés isolément des autres facteurs (sociaux, politiques, culturels, environnementaux et économiques) qui influencent l'utilisation et la gestion des infrastructures. La reconnaissance des vulnérabilités locales et globales du système québécois de transport est nécessaire pour développer des outils et des mesures d'adaptation pertinentes qui contribuent à maintenir l'état des infrastructures et les opérations de transport.

Le gouvernement du Québec a dédié des efforts considérables au cours des deux dernières décennies pour mieux comprendre les impacts des changements climatiques, à la fois pour l'environnement naturel, les infrastructures de transport et la mobilité. Les enjeux de gestion des eaux pluviales, d'érosion des berges et de dégel du pergélisol sont particulièrement bien expliqués dans la documentation et les stratégies pour composer avec ces problèmes sont de mieux en mieux compris. Sur la base de ces travaux, il a commencé à mettre en place des actions concrètes pour augmenter sa résilience. Néanmoins, l'adaptation du transport continue de s'avérer un sujet de recherche à développer.

Les risques climatiques pour les organisations, les entreprises et les systèmes d'opérations restent à être mieux expliqués au moyen de documents. Plus d'études permettraient de mieux comprendre l'interaction entre les modifications de l'environnement naturel entraînées par les changements climatiques et les modes de conception, d'organisation et de gestion des systèmes de transport.

En matière de transport routier, les sujets de recherche à développer comprennent l'analyse de la coordination entre les différentes parties prenantes et l'évaluation des impacts des changements climatiques sur la signalisation routière et sur les équipements périphériques, ainsi que l'utilisation et le développement des routes et des corridors informels dans le Nord.

En ce qui concerne le transport ferroviaire, peu d'études ont été identifiées à ce jour. Ainsi, est-il encore difficile de déterminer les enjeux spécifiques pour le Québec.

Dans le domaine du transport maritime, il faut approfondir et rédiger davantage de documentation sur les connaissances liées à la vulnérabilité des infrastructures et du transport maritimes face aux changements climatiques, surtout dans le sud du Québec. Plusieurs thèmes seraient à creuser dont : l'évaluation de l'endommagement prématuré des infrastructures avec l'effet des changements climatiques; et, l'étude de l'impact de la navigation accrue conjugué aux changements climatiques en ce qui concerne les espèces envahissantes marines.

En matière de transport et de distribution de l'électricité, l'évaluation des seuils et des niveaux de tolérance des équipements et des infrastructures par rapport aux conditions dites hostiles (vents violents, foudres, verglas, etc.) restent à préciser.

Finalement, le suivi de l'état des infrastructures par rapport à un état de référence bien expliqué dans la documentation permet de mieux comprendre les vulnérabilités potentielles, d'évaluer la performance des mesures mises en place et d'intervenir de manière plus précoce et plus stratégique aux endroits qui présentent des problèmes. Ainsi, l'acquisition de données à long terme est importante, tant pour continuer de documenter l'impact des changements climatiques que pour préciser les critères de conception et les bonnes pratiques d'entretien et de gestion. Une meilleure connaissance permet aussi l'échange de bonnes pratiques en matière de conception, de construction et d'entretien des infrastructures.

RÉFÉRENCES

Allard, M., Calmels, F., Fortier, D., Laurent, C., L'Hérault, E., et Vinet, F. (2007). *Cartographie des conditions de pergélisol dans les communautés du Nunavik en vue de l'adaptation au réchauffement climatique* [Rapport scientifique final pour Ouranos]. Montréal, QC. 49 p.

Allard, M., Fortier, R., Calmels, F., Savard, C., Guimont, A., et Tuarussov, A. (2007). *L'évaluation de l'impact du réchauffement climatique sur la stabilité des pistes d'atterrissage au Nunavik : première étape vers une stratégie d'entretien*. Exposé présentée au Congrès annuel de 2007 de l'Association des transports du Canada, Saskatoon, SK.

Allard, M., Lemay, M., Barrette, C., L'Hérault, E., Sarrazin, D., et al. (2012). *Le pergélisol et les changements climatiques au Nunavik et Nunatsiavut : importance en matière d'infrastructures municipales et de transports*. Dans M. Allard et M. Lemay (Éds.), *Le Nunavik et le Nunatsiavut : De la science aux politiques publiques. Une étude intégrée d'impact régional des changements climatiques et de la modernisation*. ArcticNet Inc., Ville de Québec, Canada, pp 171-197

Andrey, J. (2010). Long-term trends in weather-related crash risks. *Journal of Transport Geography*, 18, 247-258.

Andrey, J., et Mills, B. (2002). Climate change and transportation : potential interactions and impacts. Dans *The potential impact of climate change on transportation : Summary and discussion papers* (pp. 77-88). DOT Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Federal Research Partnership Workshop, 1-2 octobre, 2002. Repéré à <http://climate.dot.gov/documents/workshop1002/mills.pdf>

AREMA (Éd.) (2003). *Practical guide to railway engineering* (2nd Edition). Lanham, MD : The American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA). 569 p.

Association des transports du Canada (2010). *Dossier d'information sur le développement et la gestion des infrastructures de transport dans les régions du pergélisol*, Association des transports du Canada (ATC), 9 p.

Auld, H., et MacIver, D. (2005). Cities and communities : The changing climate and increasing vulnerability of infrastructure. Dans D. MacIver et L. Erda, *Climate change: Building the adaptive capacity* (pp. 254 - 288). Repéré à http://projects.ypei.ca/climate/files/2012/10/Book-5_Paper-19.pdf

Barrett, M. (2013). *Les changements climatiques au Nunavik* [Vidéo en ligne]. Repéré à <http://monclimatetmoi.ca/videos/les-changements-climatiques-au-nunavik/>

- Beaulac, I. (2006). *Impacts de la fonte du pergélisol et adaptations des infrastructures de transport routier et aérien au Nunavik* (mémoire de maîtrise). Québec, QC : Université Laval. 276 p.
- Beaulieu, P. (2014). *Portrait économique des régions du Québec* (édition 2015). Québec, QC : Ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations. Repéré à http://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/documents_soutien/regions/portraits_regionaux/portrait_socio_econo.pdf.
- Bernatchez, P. (2015, février). *Bilan des connaissances sur l'érosion et la submersion côtière au Québec : enjeux, causes et perspectives*. Présentation au 15e Colloque sur la Sécurité civile et incendie, Québec. Repéré à http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/colloques/2015/presentations/bernatchez2015.pdf
- Bernatchez, P., Boucher-Brossard, G., Corriveau, M., et Jolivet, Y. (2014). *Impacts des changements climatiques sur l'érosion des falaises de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent* [Rapport scientifique final pour le ministère de la Sécurité publique du Québec et Ouranos]. Rimouski, QC : Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières. 166 p.
- Bernatchez, P., Boucher-Brossard, G., et Sigouin-Cantin, M. (2012). *Contribution des archives à l'étude des événements météorologiques et géomorphologiques causant des dommages aux côtes du Québec maritime et analyse des tendances, des fréquences et des temps de retour des conditions météo-marines extrêmes* [Rapport présenté au ministère de la Sécurité publique du Québec]. Rimouski, QC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. 140 p.
- Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C., et Da Silva, L. (2015). *Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques* [Rapport scientifique pour Ouranos]. Québec, QC : Université du Québec à Rimouski. 45 p.+ annexes. Repéré à https://ouranos.ca/wp-content/uploads/2016/03/RapportBernatchez2015_FR.pdf
- Bernatchez, P., et Fraser, C. (2011). Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada. *Journal of coastal research*, 28(6), 1550-1566.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S., et Morissette, A. (2008). *Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques* [Rapport scientifique pour Ouranos et FACC]. Rimouski, QC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. 256 p. Repéré à https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/2016/03/RapportBernatchez2008_FR.pdf
- Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D., et Dugas, S. (2011). Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Ocean and Coastal Management*, 54 (8), 621–632.
- Bernatchez, P., Toubal, T., Van-Wierts, S., Drejza, S., et Friesinger, S. (2010). *Caractérisation géomorphologique et sédimentologique des unités hydrosédimentaires de la baie de Plaisance et de Pointe-aux-Loups, route 199, Îles-de-la-Madeleine*. Université du Québec à Rimouski. [Rapport final remis au ministère des Transports du Québec]. Rimouski, QC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. 177 p.
- Bernier, M., Gignac, C., Gauthier, Y., et Poulin, J. (2014). *Projet ICEPAC - Atlas interactif sur la probabilité de l'aléa glace à l'échelle des infrastructures maritimes et côtières dans un contexte de changements climatiques*. [Rapport d'étape 2013-2014 pour Ouranos et Ressources naturelles Canada]. Montréal, QC : Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau-Terre-Environnement. 50 p. Repéré à <http://espace.inrs.ca/2694/1/R001577.pdf>
- Bouchard, A., et Cantin, J.-F. (2015). *Évolution des niveaux et débits du fleuve Saint-Laurent, suivi de l'état du Saint-Laurent, Plan d'action Saint-Laurent*. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches_indicateurs/Fiche-debits_niveaux_eau_F_final.pdf
- Boucher-Brossard, G., et Bernatchez, P. (2013). *Analyse historique et récente de l'érosion du talus côtier, secteur des Cayes, municipalité de Rivière-Saint-Jean, Côte-Nord* [Rapport de recherche remis au ministère des Transports du Québec, Direction de la Côte-Nord]. Rimouski, QC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. 37 p.
- Boulanger, Y., Gauthier, S. Gray, D.R., Le Goff, H., Lefort, P., et Morissette, J. (2013). Fire regime zonation under current and future climate over eastern Canada, *Ecological Applications*, 23(4), 904-923 p.
- Boyer-Villemare, U., Marie, G., et Bernatchez, P. (2014). *Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Analyse des stratégies internationales et recommandations en matière de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport face aux risques naturels côtiers* [Rapport de recherche remis au ministère des Transports du Québec]. Rimouski, QC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. 165 p. + annexes.
- Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes (BRIC). (2012). *Routes et systèmes d'eau potable, d'eaux usées et d'eaux pluviales municipaux*. Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes, Volume 1 : 2012. 75 p. Repéré à http://www.canadainfrastructure.ca/downloads/Canadian_Infrastructure_Report_Card_FR.pdf
- Case, T. (2008). Climate change and infrastructure issues. *Drinking Water Research* (Édition spéciale), 18 (2), 15-17.
- Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). (2015). *Atlas hydroclimatique du Québec méridional: Impacts des changements climatiques sur les régimes de crue, détiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050*. Québec, QC : Centre d'expertise hydrique du Québec (CEH). 81 p.

- Charron, I. (2014). *Guide sur les scénarios climatiques: Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation*. Montréal, QC : Ouranos. Repéré à https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/2016/03/GuideCharron2014_FR.pdf
- Chaumont, D., et Brown, R. (2010). Analyse de simulations régionales du climat et d'indices climatiques associés au transport routier dans le sud du Québec. *Routes/Roads*, (345), 78-79.
- Circé, M., Da Silva, L., Mercier, X., Boyer-Villemaire, U., Desjarlais, C. and Morneau, F. (2016) Cost-benefit analysis of coastal adaptation options in Percé. Ouranos, Montréal. 150 pages and appendices Retrieved from <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Report-CBA-Perce.pdf>
- Clerc, C., Gagnon, M., Breton-Honeyman, K., Tremblay, M., Bleau, S., Gauthier, Y., Aloupa, S., Kasudluak, A., Furgal, C., Bernier, M., et Barrett, M. (2011). *Changements climatiques et infrastructures marines au Nunavik - Connaissances locales et point de vue des communautés des Quaqtaq, Umiujaq et Kuujuaq* [Rapport de recherche No R-1273f présenté au ministère des Affaires Indiennes et du Nord Canada]. Québec, QC : Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau-Terre-Environnement. 123 p. + annexes
- Clerc, C., Poulin, J., Gauthier, Y., Bernier, M., Bleau, S., Gignac, C., Bédard, J.-S., et Duhamel-Beaudry, É., (2012). *Descripteurs et indicateurs de la couverture glacielle au Nunavik : Quaqtaq, Umiujaq et Kuujuaq : changements climatiques et infrastructures marines au Nunavik : Impacts et adaptations* [Rapport de recherche no. R1389 remis au Ministère des transports du Québec, Consortium Ouranos du Québec et Ministère des Affaires Autochtones et Développement du Nord Canada]. Québec, QC : Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau-Terre-Environnement. 188 p.
- Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail. (2016). Coup de chaleur : Comment prévenir les coups de chaleur. Québec, QC. Repéré à http://www.csst.qc.ca/prevention/theme/coup_chaleur/Pages/comment-prevenir.aspx
- Cooper, J.A.G., et Pile, J. (2014). The adaptation-resistance spectrum: A classification of contemporary adaptation approaches to climate-related coastal change. *Ocean & Coastal Management*, 94, 90-98.
- CPCS. (2013). Étude multimodale de transport des marchandises au Québec en appui aux plans territoriaux de mobilité durable, Bloc 3 : Caractérisation du transport des marchandises à l'échelle du Québec, des grands corridors de transport et des territoires de PTMD, vol. 1 : Introduction, méthodologies et portrait provincial [Rapport préparé pour le ministère des Transports du Québec]. Montréal, QC : CPCS. 396 p.
- Croley, T.E. (2003). *Great Lakes climate change hydrologic impact assessment: IJC Lake Ontario-St. Lawrence River regulation study* [NOAA Technical Memorandum GLERL-126]. Ann Arbor, MI : US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Great Lakes Environmental Research Laboratory. 77 p. Repéré à https://www.glerl.noaa.gov/pubs/tech_reports/glerl-126/tm-126.pdf
- Cuerrier, A., Brunet, N.D., Gérin-Lajoie, J., Downing, A., et Lévesque, E. (2015). The study of Inuit knowledge of climate change in Nunavik, Quebec : A mixed methods approach. *Human Ecology*, 43(3), 379-394.
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J. H., Willett, K.M., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack, C., Klein Tank, A.M.G., Krueger, A.C., Marengo, J., Peterson, T.C., Renom, M., Oria Rojas, C., Rusticucci, M., Salinger, J., Elayah, A.S., Sekele, S.S., Srivastava, A.K., Trewin, B., Villarreal, C., Vincent, L.A., Zhai, P., Zhang, X., et Kitching, S. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century : The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 118(5), 2098–2118.
- Doré, G., Bilodeau, J.-P., Masseck Thiam, P., et Perron Drolet, F. (2014). *Impact des changements climatiques sur les chaussées des réseaux routiers québécois* [Rapport scientifique final pour Ouranos]. Québec, QC : Université Laval. 63 p.
- Drejza, S., Friesinger, S., et Bernatchez, P. (2014). *Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec*. Volume 1 (Projet X008.1) [Rapport pour le ministère des Transports du Québec]. Rimouski, QC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. 226 p. + annexes.
- Drejza, S., Friesinger, S., et Bernatchez, P. (2015). *Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques*. Volume 3 : Développement d'une approche et d'un indice pour quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques sur 9 sites témoins (Projet X008.1) [Rapport pour le ministère des Transports du Québec]. Rimouski, QC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. 308 p. + annexes. Repéré à http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1166760/03_Volume_3.pdf
- Dumais, S., et Doré, G. (2013). Utilisation de surfaces à albédo élevé afin de contrer la dégradation du pergélisol sous les infrastructures de transport *Via Bitume*, 8(3), 26-27. Repéré à <http://www.viabitume.com/include/pdf/via-octobre-2013.pdf>
- Dupigny-Giroux, L.-A. (2000). Impacts and consequences of the ice storm of 1998 for the North American north-east. *Weather*, 55(1), 7-15.
- Fagherazzi, L., Guay, R., et Sassi, T. (2004). Analysis of Climate Change Impacts on the Ottawa River System [Rapport préliminaire à la Commission mixte internationale - Lake Ontario-St. Lawrence River Study on discharge regulation]. 72 p.
- Friesinger, S., et Bernatchez, P. (2010). Perceptions of Gulf of St. Lawrence coastal communities confronting environmental change : Hazards and adaptation, Québec, Canada, *Ocean and Coastal Management*, 53(11), 669–678.

- Gagné, R., et Haarman, A. (2011). *Les infrastructures publiques au Québec : Évolution des investissements et impact sur la croissance de la productivité*. Montréal, QC : Centre sur la productivité et la prospérité de HEC Montréal. 34 p. Repéré à http://cpp.hec.ca/cms/assets/documents/recherches_publiees/PP-2010-03_Infrastructures.pdf
- Girard, C., Binette Charbonneau, A., et Payeur, F. (2014). *Le bilan démographique du Québec. Édition 2014*. Québec, QC : Institut de la statistique du Québec. 162 p. Repéré à <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/bilan2014.pdf>
- Goodwin, P. (2004). *The economic costs of road traffic congestion*, University College London, The Rail Freight Group.
- Gouvernement du Québec. (2005, 7 juin). *Les feux de forêts de Chibougamau* [Communiqué de presse]. Repéré à http://www.premier-ministre.gouv.qc.ca/actualites/communiques/2005/juin/2005-06-07_en.asp
- Gouvernement du Québec. (2012a). *Le Québec en action vert 2020. Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques, phase 1*. Repéré à http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changements/plan_action/pacc2020.pdf
- Gouvernement du Québec. (2012b). *Stratégie gouvernementale sur l'adaptation aux changements climatiques*. Repéré à http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changements/plan_action/strategie-adaptation2013-2020.pdf
- Gouvernement du Québec. (2013, 8 juillet). *Incendies de forêt dans le nord du Québec. La première ministre fait le point sur l'évolution de la situation* [Communiqué de presse]. Repéré à <https://www.premier-ministre.gouv.qc.ca/actualites/communiques/details.asp?idCommunique=2171>
- Gouvernement du Québec, ministère des Transports. (2013). *Portrait québécois du transport des marchandises de la Porte continentale et du Corridor de commerce Ontario-Québec*.
- Gouvernement du Québec. (2015). *Loi sur la sécurité du transport terrestre guidé. Règlement sur la sécurité ferroviaire*.
- Grimwood, B., Cuerrier, A., et Doubleday, N. (2012). Arctic community engagement during the 2007-2008 International Polar Year. *Polar Geography*, 35 (3-4), 189-193.
- Groleau, A., Mailhot, A., et Talbot, G. (2007). Trend analysis of winter rainfall over southern Québec and New Brunswick (Canada). *Atmosphere-Ocean*, 45(3), 153-162. doi : 10.3137/ao.450303.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2013). *Climate Change 2013 : The Physical Science Basis, IPCC AR5 Working Group I*. Repéré à https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf
- Guimond, A., et Boucher, M. (2013). L'adaptation aux changements climatiques des infrastructures de transport du Ministère des Transports au Nunavik : de la recherche à l'application, *Routes et Transports* (revue de l'AQTR), 42(4), 26-29.
- Guimond, A., Grondin, G., et Boucher, M. (2010). Nouvelle approche de planification et de gestion des infrastructures aéroportuaires du ministère des Transports du Québec au Nunavik dans un contexte de changements climatiques : Vers une stratégie d'adaptation. Exposé présenté au Congrès annuel de 2010 de l'Association des transports du Canada à Halifax, Nouvelle-Écosse, 16 p. Repéré à <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2010/docs/r1/anick.pdf>
- Institut de la statistique du Québec (ISQ). (2014). *Territoire*. Repéré à http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/quebec_statistique/ter_ter/ter_ter_4.htm
- Institut de la statistique du Québec (ISQ). (2015). *Population du Québec, 1971-2015*. Repéré à http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/structure/qc_1971-20xx.htm
- James, S. J., & James, C. (2010). The food cold-chain and climate change. *Food Research International*, 43(7), 1944-1956.
- Korkiala-Tanttu, L., et Dawson, A. (2007). Relating full-scale pavement rutting to laboratory permanent deformation testing. *International Journal of Pavement Engineering*, 8(1), 19-28.
- Larrivée, C. (2010). *Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques. Guide destiné au milieu municipal Québécois*. Montréal, QC : Ouranos, 48 p.
- Lefavre, D. (2005). *Effet des changements climatiques sur les niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec. Projections pour les années, 2050* [Rapport pour le Comité de concertation Navigation Plan d'Action Saint-Laurent - Phase 4, Institut Maurice-Lamontagne, Direction des Sciences océaniques]. 34 p.
- Lemmen, D.S., Warren, F.J. Lacroix, J., et Bush, E. (Éds.) (2008). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*. Ottawa, ON: Gouvernement du Canada. 448 p.
- Leroueil, S., Locat, J., Sève, G., Picarelli, L., et Faure, R.M. (2001). Slopes and movements. Dans K. Rowe (Éd.), *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook* (pp. 397-428). New York, NY : Kluwer Academic Publishers.
- L'Hérault, E., Allard, M., Fortier, D., Carbonneau, A.-S., Doyon-Robitaille, J., Lachance, M.-P., Ducharme, M.-A., Larrivée, K., Grandmont, K., et Lemieux, C. (2013). *Production de cartes des caractéristiques du pergélisol afin de guider le développement de l'environnement bâti pour quatre communautés du Nunavik* [Rapport scientifique final pour Ouranos, Ressources Naturelles Canada et les Fonds vert]. Québec, QC : Centre d'études nordiques, Université Laval. 84 p.
- Linham, M., et Nicholls, R. J. (2010). Technologies for climate change adaptation. Dans X. Zhu (Éd.) *Coastal Erosion and Flooding*. New Delhi, India : Magnum Custom Publishing. 150 p. Repéré à http://www.unep.org/pdf/TNAhandbook_CoastalErosionFlooding.pdf

Locat, J., Cloutier, C., Turmel, D., et Charbonneau, F. (2013). *Développement d'outils de gestion du risque de mouvements de terrain dans le secteur Gascons de la société du Chemin de fer de la Gaspésie* [Rapport final, Rapport LERN-GASCONS-13-01]. Québec, QC : Laboratoire d'études sur les risques naturels (LERN), Département de géologie et de génie géologique, Université Laval. 236 p. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1163242.pdf>

Logan, T., Bilodeau, J.-P., et Henry, K. (2016, sous presse). *Frost action and climate change*.

Mailhot, A.; Panthou, G., Talbot, G. (2014). *Recommandations sur les majorations à considérer pour les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) aux horizons 2040-2070 et 2070-2100 pour l'ensemble du Québec PHASE II. Rapport de recherche (R1515)*. Québec, QC : INRS, Centre Eau Terre Environnement.

McHugh, R., Bilodeau, F., Rivest, S., Bédard, Y., et Michaud, M. (2006, octobre). Analyse du potentiel d'une application SOLAP pour une gestion efficace de l'érosion des berges en Gaspésie Îles-de-la-Madeleine. Communication présenté à la conférence Géomatique 2006, Montréal, QC.

Mills, B. (2004). Le transports. Dans D. Lemmen et F. Warren (Éds.), *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques: perspective canadienne* (chapitre 8). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada. Repéré à http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/perspective/pdf/report_f.pdf

Ministère du Développement Durable de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MDDELCC). (2014). *Plans d'action sur les changements climatiques. Bilan 2012-2013*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/bilan-2012-2013/bilan-PACC-2012-2013.pdf>

Ministère du Développement Durable de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MDDELCC). (2015). *Bilan des plans d'action sur les changements climatiques*. (MDDELCC).

Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles (MERN). (2011). *Plan nord - Infrastructures d'accès au territoire*. Repéré à <ftp://ftp.mern.gouv.qc.ca/Public/Bibliointer/Mono/2011/12/1084145.pdf>.

Ministère de la Sécurité publique du Québec (MSP). (2012). *L'érosion des berges* [page web]. Repéré à <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/surveillance-territoriale/erosion-berges.html>

Ministère des Transports du Québec (MTQ). (2008). *Transport des marchandises - ferroviaire*. Repéré à <http://transports.atlas.gouv.qc.ca/Marchandises/MarchandisesFerroviaire.asp>

Ministère des Transports du Québec (MTQ). (2011). *Projet de recherche visant à évaluer l'impact des changements climatiques sur les infrastructures maritimes du Nunavik et à déterminer les solutions d'adaptation* [Programme de travail]. Québec, QC : ministère des transports du Québec. 24 p.

Ministère des Transports du Québec (MTQ). (2013a). *Plan stratégique 2013-2015*. Québec, QC : Gouvernement du Québec. 58 p. Repéré à https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/acces-information-renseignements-personnels/documents-reglement-diffusion/Documents/plan-strategique/Plan-Strategique_2013-2015.pdf

Ministère des Transports du Québec (MTQ). (2013b). *Portrait québécois du transport des marchandises de la Porte continentale et du Corridor de commerce Ontario-Québec*. Québec, QC : Direction des communications du ministère des Transports du Québec. 133 p. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1129600.pdf>

Ministère des Transports du Québec. (MTQ). (2015a). *Sécurité ferroviaire*. Repéré à <https://http://www.mtq.gouv.qc.ca/partenaireprives/transportferroviairemaritimeaerien/Pages/securite-ferroviaire.aspx>

Ministère des Transports du Québec (MTQ). (2015b). *Rapport annuel de gestion 2014-2015*. Québec : Gouvernement du Québec. Repéré à https://www.ceic.gouv.qc.ca/fileadmin/Fichiers_client/centre_documentaire/CEIC-R-3554_02.pdf

Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des Transports (MTMDET). (2015, janvier). *Normes sur les ouvrages routiers, Tome III - Ouvrages d'art, chapitre 2, pp. 3 et 4*.

Morris, D. (2011). Aux commandes - la rotation de la Terre a-t-elle un effet sur la durée d'un vol? *Air Canada - En Route*. Repéré à <http://gofar.aircanada.com/fr/go-far-answers/question/does-the-earth%E2%80%99s-rotation-affect-the-duration-of-flight/>

Morrisette, J. (2009). Étude de la foudre au Québec. *Les brèves du service canadien des forêts*. Centre de foresterie des Laurentides (18)

Municipalité des Îles-de-la-Madeleine. (2010). *Plan directeur d'Intervention des Îles-de-la-Madeleine*. 104 p.

National Ice Center. (2008). *IMS daily Northern Hemisphere snow and ice analysis at 4 km and 24 km resolution [1999-2010]*. Updated daily. Boulder, CO : National Snow and Ice Data Center. Repéré à <http://dx.doi.org/10.7265/N52R3PMC>

National Institute for Occupational Safety and Health. (2016). *Heat stress recommendations*. National Institute for Occupational Safety and Health Education and Information Division. Repéré à <https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/recommendations.html>

Nickels, S., Furgal, C., Buell, M., et Moquin, H. (2005). *Unikkaaqatigiit—putting the human face on climate change: Perspectives from Inuit in Canada*. Ottawa, ON : Joint publication of the Inuit Tapiriit Kanatami, Nasivik Centre for Inuit Health and Changing Environments of Laval University and the Ajunnginiq Centre of the National Aboriginal Health Organization. 123 p. Repéré à <https://www.itk.ca/canadian-inuit-perspectives-climate-change-unikkaaqatigiit/>

Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. (2009). *Manuel de foresterie*. Québec, QC : Éditions Multimondes.

- Ouranos. (2015). *Vers l'adaptation : Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 1 : Évolution climatique au Québec*. Édition 2015. Montréal, QC : Ouranos. 79 p.
- Plante, S., Vasseur, L., et Da Cunha, C. (2015). Adaptation to climate change and participatory action research (PAR) : Lessons from municipalities in Quebec, Canada. Dans J. Baztan, O. Chouinard, B. Jorgensen, P. Tett, J.-P. Vanderlinden et L. Vasseur (Éds.), *Coastal Zones : 21st Century Challenges* (pp. 319-334). Amsterdam, Netherlands : Elsevier.
- Port de Montréal. (2015). *Marché des conteneurs* [Brochure]. Repéré à http://www.port-montreal.com/files/PDF/publications/2015-05_brochure-conteneur-FR.pdf
- QGI Consulting. (2009). Description du système logistique ferroviaire canadien de marchandises [Rapport préparé pour Revue du service de marchandises ferroviaires]. Edmonton, AB : QGI Consulting, 135 p. Repéré à http://www.qgiconsulting.ca/railway_freight_reports_f.htm
- Quintin, C., Bernatchez, P., et Jolivet, Y. (2013). *Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes du Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs* [Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec]. Rimouski, QC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et Chaire de recherche en géoscience côtière, Université du Québec à Rimouski. Volume I : 48p. + Volume II : 170 p.
- Réseau des chemins de fer du Québec. (2011). *Mémoire présenté par le Réseau des chemins de fer du Québec à la Commission de l'aménagement du territoire sur l'avant-projet de loi sur l'aménagement durable du territoire et l'urbanisme*. Québec, QC : Réseau des chemins de fer du Québec. 27 p. Repéré à http://www.assnat.qc.ca/Media/Process.aspx?MediaId=ANQ_Vigie.Bll.DocumentGenerique_46339&process=Default&token=-ZyMoxNwUn8ikQ+TRKYwPCjWrKwg+vlv9rjj7p3xLGTZDmL-VSmJLoqe/vG7/YWzz
- Ressler, G. M., Milrad, S. M., Atallah, E. H., et Gyakum, J. R. (2012). Synoptic-scale analysis of freezing rain events in Montreal, Quebec, Canada. *Weather and Forecasting*, 27(2), 362–378. doi:10.1175/WAF-D-11-00071.1
- Ressources naturelles Canada. (2015). *Problématique de l'érosion littorale pour la Ville de Sept-Île*. Repéré à <http://www.rncan.gc.ca/environnement/ressources/publications/impacts/adaptation/etudes-cas/16308>
- Roche-Deluc. (2010). *Prévisions d'achalandage 2010-2025* [Rapport final pour la Société des Traversiers du Québec]. Québec, QC : Roche ltée / Roche-Deluc. 104 p. Repéré à https://www.traversiers.com/fileadmin/fichiers_client/Documentation/previsions_achalandage_2010_2025.pdf
- Roy, A., et Boyer, C. (2011, mars). *Impacts des changements environnementaux sur les tributaires du Saint-Laurent*. Présentation au Colloque en agroclimatologie du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Montréal.
- Samson, G., Gérin-Lajoie, J., Lévesque, E., Gagnon, F., Gauthier, Y. et Cuerrier, A. (2013). Les savoirs traditionnels au service des savoirs scientifiques: limites et défis - Le rôle des Inuits aînés du nord québécois. *Esprit Critique*, 17, 94-109.
- Savard, C. (2006). *Imagerie Électrique de la sous-fondation pergélisolée des pistes d'atterrissage au Nunavik*. (Mémoire de maîtrise). Université Laval, Québec. Repéré à <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/23595/23595.html>
- Savard, J.-P., Bernatchez, P., Morneau, F., Saucier, F., Gachon, P., Senneville, S., Fraser, C. et Jolivet, Y. (2008). Étude de la sensibilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatique. Synthèses des résultats. Montréal, QC : Ouranos. 48 p. Repéré à https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/2016/03/RapportSavard2008_FR.pdf
- Savard, J.-P., van Proosdij, D. et O'Carroll, S. (2016). Perspectives relatives à la région de la côte Est du Canada. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (Éds.), *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat* (pp. 99-152). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada.
- Senneville, S., St-Onge-Drouin, S., Dumont, D., Bihan-Poudec, A.-C., Belemalem, Z., Coriveau, M., Bernatchez, P., Bélanger, S., Tolszczuk-Leclerc, S. et Villeneuve, R. (2014). *Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques* [Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec]. Rimouski, QC : ISMER-UQAR. 384 p. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1147874.pdf>
- Slack, B. et Comtois, C. (2016). Climate change and adaptation strategies of Canadian ports and shipping : the case of the St-Lawrence-Great Lakes system. Dans A.K.Y. Ng., A. Becker, S. Cahoon, S.-L. Chen, P. Earl, et Z. Yang (Éds.), *Climate change and adaptation planning for ports*. (pp. 45-48). New York, NY : Routledge.
- Société de développement économique du Saint-Laurent. (2015). *L'industrie maritime : Un atout essentiel au développement du Québec* [brochure]. Repéré à http://www.st-laurent.org/wp-content/uploads/2015/05/9147_Brochure_IndusMaritime_fr_LR.pdf
- Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) (2014). *Rapport annuel 2013*. Québec, QC : SOPFEU. 13 p. Repéré à <http://www.sopfeu.qc.ca/fr/sopfeu/publications/rapports-annuels>
- Société des traversiers du Québec. (2014). *Rapport annuel de gestion 2013-2014*. Québec, QC : Gouvernement du Québec. Repéré à https://www.traversiers.com/fileadmin/fichiers_client/Diffusion_info/RAG_STQ_2014.pdf
- Soucy, A. (2015). *Le Québec chiffres en mains. Édition 2015*. Québec, QC : Institut de la statistique du Québec. Repéré à http://www.stat.gouv.qc.ca/quebec-chiffre-main/pdf/qcm2015_fr.pdf
- St-Amour, J. (2011). Bas-Saint-Laurent et Gaspésie-Iles-de-la-Madeline. Le réseau routier du MTQ endommagé. *Inter-Action*, 2(1). Repéré à <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/publications-et-statistiques/inter-actionexpress/archives/hiver-printemps-2011/decembre-2010-dans-l-est-du-quebec/reseau-routier-endommage.html?MP=18526-18550>
- Statistique Canada (2011). *Le transport maritime au Canada 2011* (no 54-205-X au catalogue). Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/pub/54-205-x/54-205-x2011000-fra.htm>

Statistique Canada (2014) *Trafic des transporteurs aériens aux aéroports canadiens* (no 51-203-X au catalogue). Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/pub/51-203-x/51-203-x2014000-fra.pdf>

Thiam, Papa Masseck. (2014). *Effets des futurs changements climatiques sur la performance à long terme des chaussées souples au Québec* [Mémoire de maîtrise]. Université Laval, QC. Repéré à http://i3c.gci.ulaval.ca/fileadmin/i3c/documents/Ajouts_Octobre_2013/Memoire_Papa_Masseck_Thiam_taille_reduite.pdf

Transports Canada. (2015). *Compendium d'articles sélectionnés - le réseau d'expertise sur la recherche de l'infrastructure du transport du Nord*.

Tremblay, M., Furgal, C., Lafortune, V., Larrivée, C., Savard, J.-P., Barrett, M., Annanack, T., Enish, N., Tookalook, P. et Etidloie, B. (2006). Communities and ice: Linking traditional and scientific knowledge. Dans R. Riewe et J. Oakes (Éds.), *Climate change: Linking traditional and scientific knowledge* (p. 123-138). Winnipeg, MB : University of Manitoba Aboriginal Issues Press.

VIA Rail Canada (2014) *Rapport annuel 2014*. Repéré à https://www.viarail.ca/sites/all/files/media/pdfs/About_VIA/our-company/annual-reports/2014/VIA%20Rail_2014%20Annual%20Report_FR.pdf

Webster, A., Gagnon-Lebrun, F., Desjarlais, C., Nolet, J., Sauvé, C., et Uhde, S. (2008). *L'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation aux changements climatiques* [Rapport d'information générale rédigé sous la direction d'Ouranos avec l'aide d'Éco-Ressources consultants]. Repéré à http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/observatoire_municipal/etudes_donnees_statistiques/evaluation_avantages_couts_adaptation.pdf