



9 • Urbain

CHAPITRE 9 : URBAIN

AUTEURS PRINCIPAUX :

JEFF CASELLO¹
WILL TOWNS²

COLLABORATEURS :

ELAINE AUCOIN (VILLE DE MONCTON),
JOCELYN BEATTY (UNIVERSITÉ DE WATERLOO),
NAZZARENO CAPANO (VILLE DE TORONTO),
IAN PICKETTS (UNIVERSITY OF NORTHERN BRITISH COLUMBIA),
VESNA STEVANOVIC-BRIATICO (VILLE DE TORONTO),
JOHN STREICKER (VILLE DE WHITEHORSE),
STEPHANE THIBODEAU (VILLE DE MONCTON)

NOTATION BIBLIOGRAPHIQUE RECOMMANDÉE :

Casello, J., et Towns, W. (2017). Urbain. Dans K. Palko et D.S. Lemmen (Éds.), *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016* (pp. 289-340). Ottawa (ON) : Gouvernement du Canada.

¹ Faculté de génie civil et génie de l'environnement et l'École de la planification, Université de Waterloo, Waterloo (ON)

² École de la planification, Université de Waterloo, Waterloo (ON)

TABLE DES MATIÈRES

Principales conclusions.....	291
1.0 Introduction.....	292
1.1 Tendances dans les milieux urbains du Canada.....	293
1.2 Adaptation aux changements climatiques.....	295
2.0 Le climat et les transports urbains	296
2.1 Sensibilité du transport urbain au climat	296
2.2 Tendances et projections climatiques	303
2.3 Risques climatiques pour le transport urbain	307
3.0 Infrastructure routière urbaine	308
4.0 Transport ferroviaire urbain	310
5.0 Transport actif	312
6.0 Pratiques d'adaptation aux changements climatiques pour le transport urbain	317
7.0 Interdépendances avec d'autres secteurs urbains.....	332
8.0 Lacunes et obstacles.....	335
9.0 Conclusion	335
Références	336

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- **L'accroissement de la redondance (en particulier entre les modes de transport) dans les réseaux de transport urbain permet d'augmenter la résilience aux changements climatiques.** Un système redondant donne aux voyageurs des choix, de sorte que si une option connaît des difficultés, d'autres options efficaces seraient disponibles. La redondance devient encore plus importante en situation d'urgence (y compris les urgences dues aux conditions climatiques extrêmes), car elle permet aux voyageurs d'arriver à destination et aux économies de fonctionner même en cas d'importantes perturbations de service.
- **Les événements météorologiques extrêmes ont une influence sur les perspectives et les actions des décideurs urbains.** Les événements ayant des impacts socio-économiques graves montrent aux décideurs municipaux que l'activité humaine, les décisions de planification imprévoyantes ou l'omission d'agir peuvent aggraver les dommages liés aux conditions météorologiques. L'expropriation des terres plaines inondables et la déviation des routes loin des zones vulnérables sont des exemples de changements stratégiques apportés en réponse à des événements météorologiques extrêmes dans certaines villes canadiennes.
- **Les stratégies d'adaptation « sans regret » ou à « faible regret » offrent aux municipalités la possibilité d'améliorer à coût relativement faible la résilience de l'infrastructure de transport à des points névralgiques du cycle de vie de l'infrastructure.** Un exemple est l'amélioration de la capacité de gestion des eaux pluviales afin de tenir compte des futures conditions de précipitations possibles au moment où l'infrastructure devra être renouvelée. Ces stratégies contribuent également à renforcer l'appui du public à l'égard des efforts d'adaptation lorsqu'elles offrent des avantages tangibles, communiqués clairement et réalisés rapidement.
- **Les coûts liés à l'infrastructure résiliente sont considérés comme un obstacle à la mise en œuvre de mesures d'adaptation.** En ce qui a trait au financement des dépenses en capital et en coûts opérationnels, des outils de financement innovateurs et des partenariats intergouvernementaux pourraient aider à promouvoir l'adaptation au moment d'aborder la question du déficit croissant en matière d'infrastructure municipale du Canada.
- **Un besoin de collaboration structurée existe entre les ministères, les organismes de transport, les services d'urgence, les conseils municipaux, les ingénieurs, les spécialistes des changements climatiques et la population civile.** La collaboration permettrait de faire en sorte que l'adaptation devienne une entreprise communautaire, et mettrait en évidence les principales interdépendances dans le secteur du transport urbain (par exemple, avec les fournisseurs d'électricité et de télécommunications).
- **Les Villes canadiennes ont entrepris un certain nombre d'initiatives qui renforcent la résilience.** Les exemples de Whitehorse, Prince George, Toronto et Moncton démontrent la diversité nécessaire des stratégies d'adaptation pour faire face à l'ampleur des défis géographiques et climatiques d'un bout à l'autre du pays. Ces études de cas laissent entendre que, de plus en plus, les spécialistes en urbanisme ne s'arrêtent plus seulement à l'évaluation des risques et qu'ils commencent à mettre en œuvre des pratiques d'adaptation et à construire une infrastructure résiliente.

1.0 INTRODUCTION

Les systèmes de transport urbain sont vulnérables aux événements météorologiques extrêmes et aux effets conjugués des changements climatiques. Les conditions météorologiques extrêmes occasionnent des perturbations et des retards dans les déplacements urbains causés par l'affouillement des routes et des voies de transport, et par les dommages aux systèmes électriques et aux systèmes de communication sur lesquels dépendent ces modes de transport. La hausse des températures provoque l'orniérage de la chaussée, le gauchissement des rails ainsi que des dommages aux infrastructures construites sur le pergélisol dans les collectivités du Nord. Ces derniers risques conjugués à d'autres risques climatiques peuvent avoir une incidence sur le coût, l'efficacité et la sécurité du transport urbain au Canada.

Dans le présent chapitre, le terme transport urbain renvoie à tous les modes de transport qui transportent des personnes et des biens dans les villes et, plus largement, dans les régions métropolitaines. Cela comprend les infrastructures et les véhicules (automobiles, autobus), le système de transport sur rails (y compris les métros, les systèmes légers sur rail [SLR] et les trains de banlieue), de même que les modes actifs comme la marche et le cyclisme. Prendre note que les aéroports, les systèmes ferroviaires régionaux et nationaux, les ports maritimes et les services de traversiers³ sont abordés dans les chapitres régionaux du présent rapport.

Le présent chapitre se concentre sur la vulnérabilité du transport urbain aux impacts des changements climatiques graduels et aux événements météorologiques extrêmes, en prenant en compte les interactions entre les infrastructures, les services et les populations concentrés des villes. Le chapitre se penche également sur les efforts actuels déployés par les municipalités canadiennes, et sur les efforts prévus dans l'avenir afin d'augmenter la résilience du transport. Bien que certaines de ces adaptations peuvent s'avérer coûteuses, beaucoup peuvent être classées comme des stratégies « sans regret » ou « à faible regret » qui entraînent peu de coûts supplémentaires, produisent des avantages conjoints ou préviennent des dépenses futures. L'intégration des considérations climatiques dans les processus décisionnels, par exemple, dans l'élaboration des plans officiels, des processus de gestion financière et dans les décisions d'investissement dans l'infrastructure, facilite l'identification de ce type d'adaptation.

Statistique Canada a récemment remplacé le terme « centre urbain » par « centre de population ». Il existe trois catégories de centre de population :

- les petits centres de population (entre 1 000 et 29 000 personnes);
- les moyens centres de population (entre 30 000 et 99 000 personnes);
- les grands centres de population (plus de 100 000 personnes) (Statistique Canada, 2011a).

Le présent chapitre se concentre principalement sur les deux dernières catégories. Les termes « centres urbains » et « centres de population » sont utilisés de manière interchangeable.

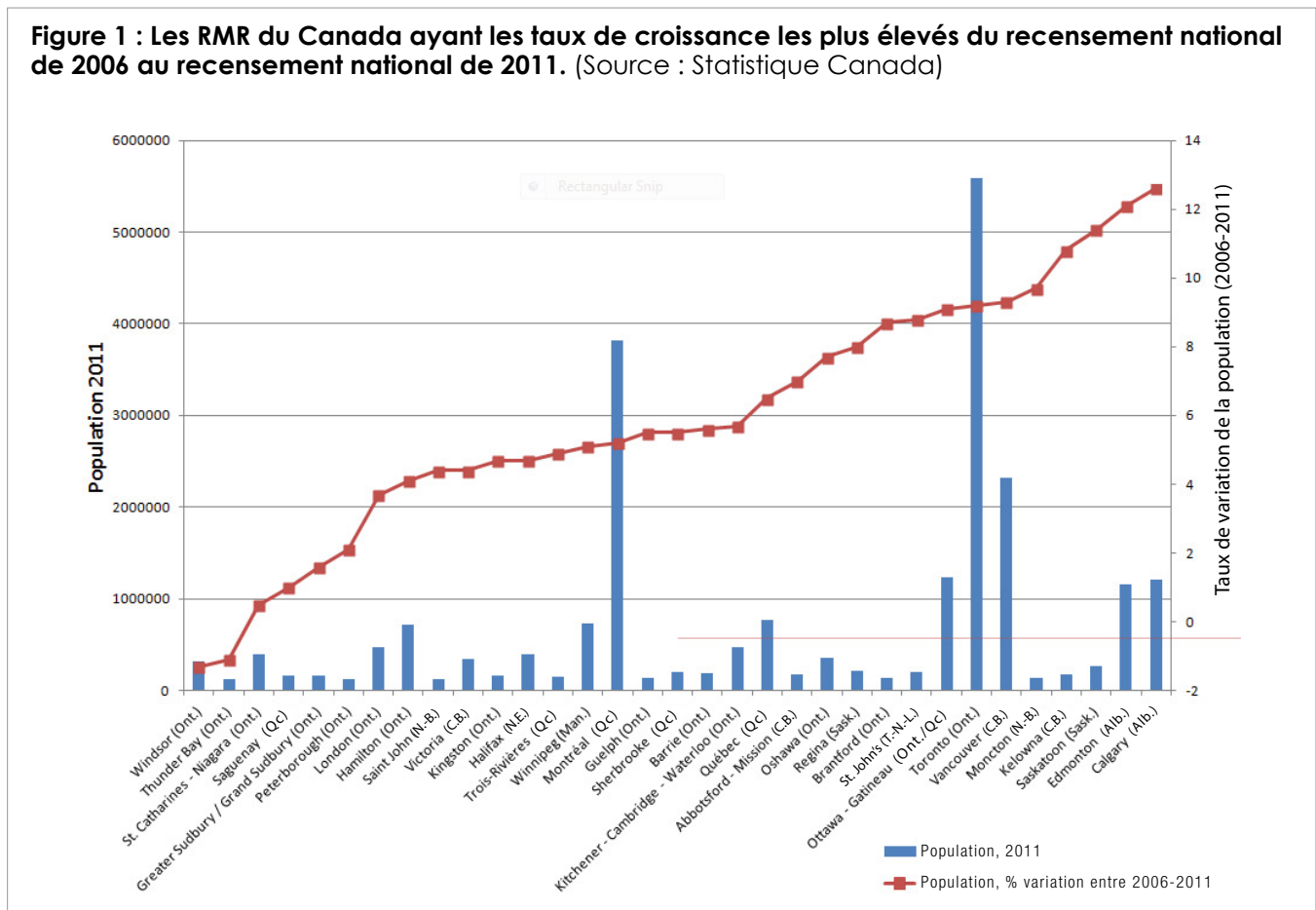
Reconnaissant que la recherche portant sur l'étude des impacts climatiques sur les transports urbains est limitée au Canada, le présent chapitre s'appuie également sur des recherches américaines pertinentes pour compléter le contenu canadien au besoin.

³ Les services de traversier fournissent des services de transport uniquement dans quelques centres urbains canadiens (par exemple, Halifax et Vancouver).

1.1 TENDANCES DANS LES MILIEUX URBAINS DU CANADA

Le Canada est de plus en plus urbain. Lors du recensement national de 2011, 81 % des Canadiens ont indiqué qu'ils vivaient dans des moyens ou grands centres de population. Les tendances démographiques indiquent que les plus grandes zones urbaines du Canada – appelées régions métropolitaines de recensement (RMR) – sont en croissance rapide, en grande partie en raison de leur capacité à attirer au Canada des générateurs économiques tels que les services financiers, les organismes de recherche et de développement, les touristes ainsi que les nouveaux arrivants (Filion et Bunting, 2010). La figure 1 présente la croissance de la population dans les RMR du Canada pendant la période 2006-2011.

Figure 1 : Les RMR du Canada ayant les taux de croissance les plus élevés du recensement national de 2006 au recensement national de 2011. (Source : Statistique Canada)



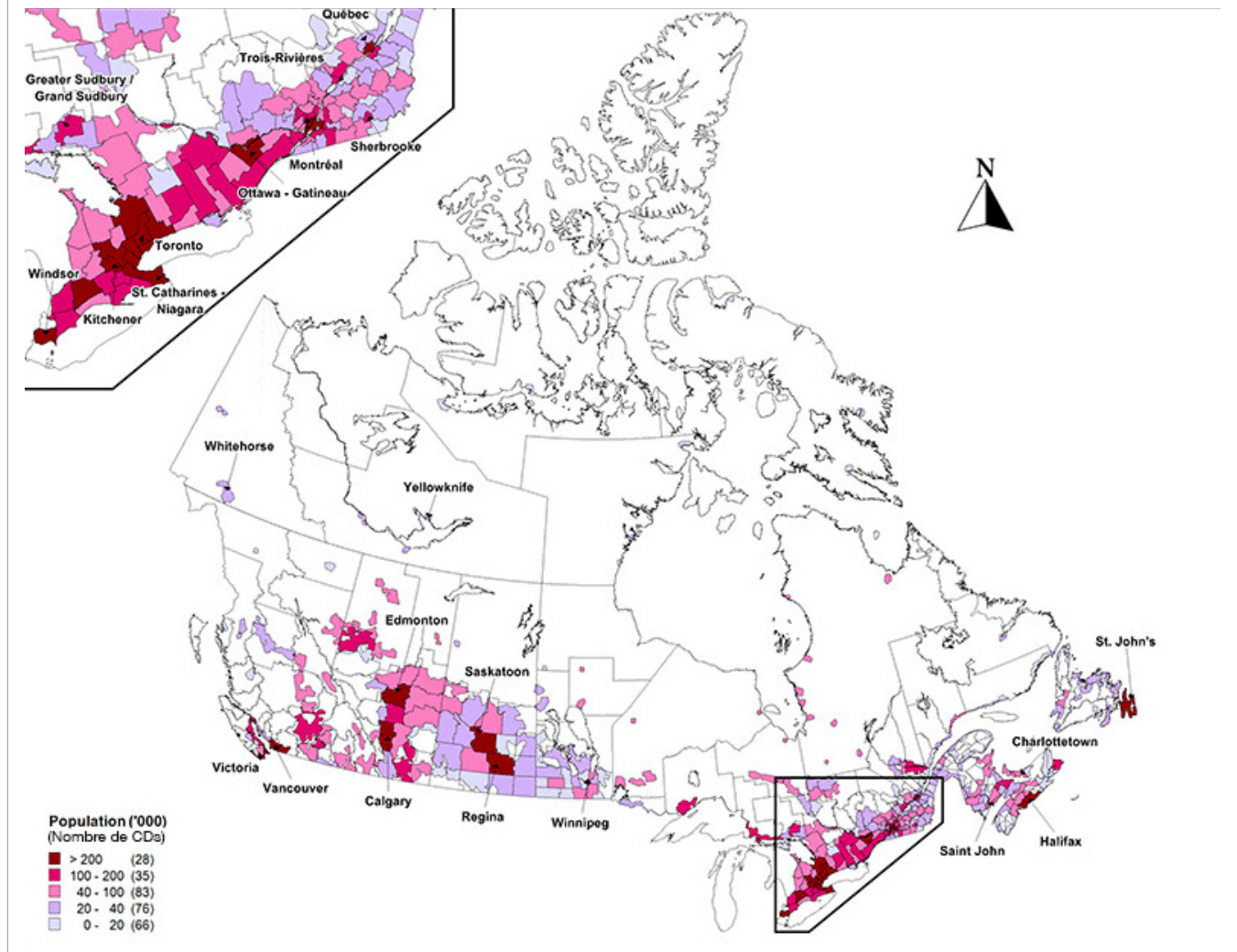
Les agglomérations de grande et de moyenne taille mènent le mouvement d'urbanisation au Canada. Alors que les grandes régions métropolitaines de trois villes (Montréal, Toronto et Vancouver) représentent maintenant 35 % de la population canadienne (Postmedia News, 2012), de nombreuses villes de plus petite taille ont aussi connu une croissance importante (Saskatoon, Kelowna et Moncton, par exemple). Selon les experts, cette tendance devrait se poursuivre pour une bonne partie du 21^e siècle. Ainsi, l'adaptation aux risques climatiques dans les villes canadiennes se produira de concert avec la gestion de la croissance de la population urbaine.

La mesure dans laquelle les villes canadiennes seront touchées par les changements climatiques et leurs capacités d'adaptation varie considérablement. « La capacité d'adaptation » est une fonction de nombreux facteurs, y compris la géographie. Les RMR sont réparties dans un certain nombre de régions climatiques, dont deux dans le Nord du Canada (à Whitehorse, au Yukon, et à Yellowknife,

dans les Territoires du Nord-Ouest), qui font face à des défis particuliers liés au réchauffement rapide et à la fonte du pergélisol (voir le chapitre 3).

Le développement urbain du Canada dans la période d'après-guerre a été caractérisée par un étalement à faible densité et tentaculaire vers l'extérieur des centres-villes traditionnels, encourageant (et souvent nécessitant) l'utilisation quotidienne de la voiture (Blais, 2013). La congestion routière pèse de plus en plus lourd sur les régions urbaines du Canada, coûtant de 6 à 11 milliards de dollars par année en productivité économique perdue dans la région du Grand Toronto et de Hamilton, et de 500 millions à 1,2 milliard de dollars par année dans la région métropolitaine de Vancouver, selon la méthodologie particulière appliquée (Dachis, 2013; Dachis, 2015). Toutefois, de nombreuses municipalités canadiennes ont commencé à reconnaître l'importance des quartiers compacts favorisant les déplacements à pied pour améliorer l'efficacité et la durabilité de leur environnement urbain (ministère de l'Infrastructure de l'Ontario, 2013; Metro Vancouver, 2011; Haider et coll., 2013). Ainsi, on note un mouvement général pour le développement « en hauteur » aux dépens de l'étalement, et la densité de population augmente conjointement avec la croissance de la population : dans les RMR, la densité de population a augmenté en moyenne de 6 % depuis la période 2006-2011 (Statistique Canada, 2011a; voir la figure 2).

Figure 2 : Densité urbaine et agglomérations au Canada. (Source : Statistique Canada)



Lorsqu'on évalue les impacts climatiques sur les villes, la densité (de population et d'infrastructure) est un facteur qui complique la situation. Les impacts localisés, tels que les vents violents et les pluies abondantes, perturbent davantage la circulation et les activités économiques, et touchent davantage de personnes et d'éléments d'infrastructure dans les centres urbains que dans les zones moins densément peuplées (Revi et coll., 2014; Solecki et coll., 2011).

L'état de détérioration de l'infrastructure municipale complique encore davantage la capacité des villes à forte croissance et de plus en plus denses du Canada d'accueillir une population croissante. Le Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes (BRIC) de 2016, qui a évalué l'état des infrastructures appartenant aux municipalités canadiennes, a attribué la cote de « mauvais » à « très mauvais » à 14 % des trottoirs, des routes et des ponts et une valeur de remplacement totale de 50,4 milliards de dollars. Le BRIC a attribué les mêmes cotes à 17 % des infrastructures de transport en commun (véhicules, technologie mobile, systèmes de sécurité, équipements de signalisation et installations terminales) dont la valeur de remplacement serait de 9 milliards de dollars (Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes, 2016). Selon le Bulletin, dans les conditions actuelles d'investissement et d'entretien, la plupart des infrastructures de transport urbain nécessiteront des investissements considérables de plus en plus importants avec le vieillissement, et ce, même pour les infrastructures qui ont actuellement une cote de « passable » à « très bon » (Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes, 2016). La pression exercée sur ces infrastructures par les changements climatiques est susceptible d'accélérer la nécessité de remplacer ou de mettre à niveau les actifs plus âgés.

Le nombre d'usagers du transport en commun par habitant au Canada augmente également chaque année (Association canadienne du transport urbain, 2012), tandis que les taux de propriétaires de voitures dans les RMR sont en baisse (Perl et Kenworthy, 2010). Le transport en commun attire de plus en plus l'attention de tous les ordres de gouvernement au Canada, alors que l'appui financier fédéral et provincial pour le transport urbain au Canada augmente de 5,2 % par an depuis 2008 (Transports Canada, 2013). Cela est cohérent avec la tendance internationale élargie en matière de gouvernance urbaine visant à améliorer les modes de transport en commun comme moyen pour réduire la congestion routière et améliorer la santé publique (Bradford, 2008).

Enfin, il est utile d'examiner les interactions entre les systèmes d'infrastructure multiples dans les villes. Les réseaux de transport de véhicules et de trains à niveau dépendent fortement des infrastructures de drainage pour gérer l'écoulement d'averse. Les réseaux de transport ferroviaires dans les villes comme Calgary, Edmonton, Toronto, et Montréal dépendent d'un système électrique fiable pour alimenter les véhicules et les réseaux de communication. Les systèmes de transport en commun de véhicules et d'autobus comptent également sur les ressources municipales de distribution d'électricité et d'intervention d'urgence pour la signalisation routière et la sécurité routière. Cela fournit un contexte important pour le présent chapitre, alors que les secteurs public et privé au Canada sont mis au défi de maintenir ou d'améliorer cet éventail d'infrastructures urbaines interdépendantes tout en améliorant la résilience des réseaux de transport aux changements climatiques.

1.2 ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Un certain nombre de stratégies peuvent être utilisées pour réduire les impacts des changements observés et projetés dans le climat et les conditions météorologiques extrêmes sur les systèmes de transport urbain. Les stratégies présentées dans le présent chapitre entrent dans les catégories générales suivantes :

- investir dans des infrastructures, des pratiques opérationnelles et des matériaux plus résilients pour les infrastructures de transport;
- accroître la redondance au sein des réseaux de transport, à savoir offrir plusieurs choix d'itinéraires ou de modes de transport urbain ayant des coûts d'utilisation similaires;
- mettre à jour les critères de conception adaptés au climat utilisés dans les normes d'ingénierie afin de mieux tenir compte des conditions futures;

- améliorer les politiques et les contrôles en matière d'aménagement du territoire (par exemple, les modifications de zonage ou les exigences de construction dans les zones vulnérables);
- renforcer la résilience des collectivités aux conditions climatiques extrêmes et aux effets météorologiques au moyen de mesures d'adaptation sociale.

2.0 LE CLIMAT ET LES TRANSPORTS URBAINS

Il est important de comprendre les interactions historiques entre le climat, les conditions météorologiques et la géographie pour déterminer l'incidence des changements climatiques sur le transport urbain dans les villes canadiennes au 21^e siècle. L'emplacement est un facteur important de la vulnérabilité urbaine aux changements climatiques, alors que de nombreuses villes au Canada sont situées dans des zones de faible élévation à proximité d'importants plans d'eau (Filion et Bunting, 2010). Les plaines inondables, les régions côtières ainsi que d'autres zones vulnérables pourraient être sujettes à d'importantes inondations, à de l'érosion prononcée et à des dommages importants aux infrastructures dus aux changements climatiques et aux événements météorologiques extrêmes plus fréquents (Revi et coll., 2014). Bien que les dispositions actuelles relatives à la planification limitent souvent le développement dans les zones vulnérables, cet héritage en matière de vulnérabilité urbaine persiste et est accentué par l'augmentation de la densité de population. Comprendre comment les villes ont abordé la question des effets des changements climatiques dans le passé aide les villes vulnérables à prendre des décisions et à faire des investissements éclairés pour s'adapter aux changements climatiques émergents.

La présente section donne un aperçu des impacts climatiques et des effets liés aux conditions météorologiques sur le transport urbain au Canada, ainsi que des conditions climatiques projetées pour le 21^e siècle. D'autres chapitres dans le présent rapport abordent les questions climatiques propres aux régions.

2.1 SENSIBILITÉ DU TRANSPORT URBAIN AU CLIMAT

De nombreuses leçons ont été tirées sur la façon de s'adapter à des conditions météorologiques particulièrement mauvaises dans tous les modes de transport urbain au Canada. Certains exemples sont examinés dans la présente section.

Cyclone à Regina en juin 1912

Le cyclone de Regina du 12 juin 1912 est la tornade la plus destructrice de l'histoire canadienne. Il a fait 30 victimes, laissé 2 500 personnes sans-abri et causé 1,2 million de dollars (environ 25 millions en dollars de 2015⁴) en dommages à la propriété et à l'infrastructure (Environnement Canada, 2013a; Saskatchewan Archives Board, 2011). Les dommages étaient si importants qu'il a fallu à la Ville 40 ans pour rembourser les dettes qu'elle avait contractées (Saskatchewan Archives Board, 2011). La perte de la gare de marchandises du Chemin de fer Canadien Pacifique a été particulièrement dommageable. Le cyclone a retourné des wagons et détruit les entrepôts de grains, rasant un élément clé du réseau de transport du grain de l'Ouest canadien et causant un préjudice important aux villes partout au pays qui dépendaient du grain de l'Ouest (Martin, 2012).

Au cours du siècle qui s'est écoulé depuis cet événement, les protocoles de gestion et de communication en cas d'urgence ont considérablement changé (y compris l'utilisation des médias électroniques et sociaux pour avertir les exploitants et les voyageurs des menaces imminentes), et les

⁴ Toutes les conversions des valeurs historiques en dollars contemporains dans le présent chapitre ont été effectuées à l'aide de la Feuille de calcul de l'inflation, qui fournit des conversions à l'aide de l'indice des prix de produits de consommation. <http://www.banqueducanada.ca/taux/reenseignements-complementaires/feuille-de-calcul-de-linflation/>.

codes et les matériaux de construction urbaine sont beaucoup plus résistants au vent et à la pluie (Martin, 2012). Bien que les dommages et les perturbations associées à un événement similaire soient probablement importants, les impacts d'une tornade sur le transport et sur d'autres infrastructures ne seraient pas aussi dévastateurs aujourd'hui en raison des codes de construction plus stricts et de l'amélioration des matériaux (Martin, 2012).

Inondation de la vallée du fleuve Fraser au printemps 1948

Un réchauffement anormalement rapide d'une énorme accumulation de neige sur la montagne a causé le débordement du fleuve Fraser, en Colombie-Britannique, au cours des mois de mai et juin 1948. Les inondations ont englouti 2 300 maisons, laissant 16 000 personnes sans-abri et faisant 10 morts (Robinson et Cruikshank, 2006). Les dommages ont été évalués à 20 millions de dollars (environ 220 millions en dollars de 2015) (Environnement Canada, 2010).

Le réseau de digues installé pour protéger les zones urbaines de Chilliwack, Mission et New Westminster était considéré comme offrant une protection appropriée contre les inondations mineures, mais n'a pu résister aux crues élevées de l'inondation. Le 10 juin, la crue du fleuve a atteint un niveau maximal de 7,6 m à Mission, inondant les rues et les routes à proximité, empêchant la circulation des véhicules, des piétons et sur les deux lignes ferroviaires qui traversaient la ville (McLean et coll., 2007; Environnement Canada, 2010). Alors que seulement 0,5 % des 1 375 km de plaine inondable est à risque d'inondation aujourd'hui, cette zone à haut risque est composée de nombreux centres urbains et abrite deux aéroports et des segments importants des réseaux routier et ferroviaire (Environnement Canada, 2010).

Les gouvernements et les décideurs ont appris plusieurs leçons à la suite des inondations du fleuve Fraser. Une meilleure coordination régionale, une meilleure planification d'urgence et une sensibilisation accrue ont incité les administrations municipales ainsi que le gouvernement provincial et fédéral à investir 300 millions de dollars depuis 1948 pour améliorer les digues et d'autres mesures de prévention des inondations dans la région (pour résister à une inondation qui se produit tous les 200 ans); par conséquent, la capacité d'adaptation de même que la résilience de ces communautés ont été améliorées (McLean et coll., 2007).

Bien que des améliorations considérables aient été apportées dans la lutte contre les inondations, les régions urbaines de la vallée du fleuve Fraser encourent des risques accrus liés à des événements semblables ou plus importants au cours des prochaines décennies en raison des changements climatiques.

Figure 3 : L'inondation du fleuve Fraser à Mission de 1948. (Source : Environnement et Changement climatique Canada)



Ouragan Hazel dans la région du Grand Toronto en octobre 1954

L'ouragan Hazel, qui a frappé la région du Grand Toronto (RGT) en octobre 1954, est possiblement la catastrophe urbaine liée aux intempéries la plus connue du Canada, et demeure l'une des tempêtes les plus coûteuses de l'histoire de la région. Un automne humide a causé la sursaturation des sols en Ontario (Environnement Canada, 2013a), une situation qui a aggravé les effets des 210 mm de pluie qui sont tombés dans une période de 36 heures. Des crues soudaines importantes ont tué 81 personnes (Office de protection de la nature de Toronto et de la région, 2014). Les dommages ont totalisé 100 millions de dollars (environ 900 millions en dollars de 2015), dont la moitié a servi au remplacement des infrastructures de transport endommagées ou détruites (Robinson et Cruikshank, 2006).

Les perturbations des systèmes de transport ont été importantes :

- De nombreuses lignes de trains ont été retardées ou autrement touchées, et un wagon du CN a été renversé (Environnement Canada, 2013a).
- Le CN a signalé une augmentation spectaculaire des déplacements par train durant l'événement en raison des inondations généralisées des routes. Environ 14 000 personnes ont voyagé en train durant l'ouragan Hazel, par rapport à la moyenne quotidienne de 1 000 personnes (Environnement Canada, 2013a), démontrant l'importance d'offrir des options de transport redondantes afin de préserver la mobilité durant les événements extrêmes.
- Des inondations et des affouillements importants se sont produits sur l'autoroute 400 et les routes 11 et 12, entravant la circulation automobile. Certains segments de ces routes, au plus fort de la tempête, étaient sous environ un mètre d'eau.
- Un total de 40 ponts ont été endommagés, et 10 ont été mis hors service. De nombreux ponts servant d'artères principales, y compris des ponts enjambant la rivière Don, le chemin York Mills et l'avenue Bayview, ont été emportés, causant des perturbations sociales considérables (Environnement Canada, 2013a).

La RGT a pris des mesures d'adaptation à la suite de l'ouragan Hazel pour contrer les effets immédiats de l'ouragan et réduire la vulnérabilité à des événements similaires à l'avenir. La Ville a concentré ses efforts sur la prise de décision en matière de politique de gestion des urgences et en matière d'infrastructure. Par exemple, l'emplacement proposé pour la route express Gardiner de Toronto a été modifié afin d'élever la chaussée et d'éloigner la route des rives du lac Ontario. L'autoroute très achalandée qui traverse le centre-ville de Toronto n'était pas encore construite en 1954, mais elle aurait été presque entièrement inondée par un ouragan de cette ampleur si elle avait été construite comme il était prévu initialement (Environnement Canada, 2015). Par ailleurs, dans la foulée de l'ouragan Hazel, la Ville a choisi de mettre davantage l'accent sur le rétablissement rapide des services de transport en commun afin d'atténuer la congestion routière pendant et après les situations d'urgence (Environnement Canada, 2015).

L'ouragan Hazel a également contribué à changer les perspectives des décideurs en Ontario. Ils n'allaient plus simplement considérer les catastrophes naturelles comme des « actes de la nature ». Plutôt, un lien important et transformateur a été fait entre les dommages liés aux conditions météorologiques et les décisions en matière de planification (Henstra, 2011). L'ouragan Hazel a incité l'Office de protection de la nature de Toronto et de la région à apporter de nombreux changements stratégiques qui ont donné lieu à une résilience accrue aux événements météorologiques extrêmes et aux inondations. Plus précisément, l'Office a adopté les mesures qui suivent :

- a exproprié les terrains inondés situés à proximité des cours d'eau et a empêché le développement dans ces zones;
- a augmenté la quantité d'espaces verts capable d'absorber l'eau dans la ville;
- a amélioré l'infrastructure et les techniques de gestion des cours d'eau (Robinson et Cruikshank, 2006).

Avant l'ouragan Hazel, des groupes de bénévoles s'acquittaient généralement des activités de nettoyage à la suite de tempêtes en Ontario. L'ouragan Hazel a incité les municipalités à faire appel au gouvernement provincial et au gouvernement fédéral pour obtenir les ressources nécessaires afin de se préparer adéquatement en vue d'événements météorologiques extrêmes et favoriser la récupération après coup (Robinson et Cruikshank, 2006).

Tempête de verglas sur l'Est du Canada en janvier 1998

Du 4 au 10 janvier 1998, une quantité importante de pluie verglaçante est tombée de l'Est de l'Ontario jusqu'à la Nouvelle-Écosse. Plus de 100 mm de glace sont tombés durant plus de 80 heures de précipitations, laissant plus de 4 millions de personnes sans électricité et entraînant d'importantes perturbations dans le transport. Des fils électriques, des poteaux électriques et des branches d'arbres ont bloqué les routes, et les pannes de courant ont perturbé la signalisation routière. Des routes ont été fermées et les services de transport en commun ont été retardés et annulés, alors que la chaussée glacée a causé des accidents et rendu les déplacements dangereux (Bertin, 1998). Plus de 16 000 membres des Forces armées canadiennes ont été déployés pour gérer la crise après coup; Environnement Canada a estimé que le montant des réclamations d'assurance initiales s'élevait à plus de 1,5 milliard de dollars et que les réclamations totales ont dépassé 3 milliards de dollars (Environnement Canada, 2013b).

Figure 4 : Membres de l'armée canadienne enlevant des débris causés par l'ouragan Hazel. (Source: Bibliothèque et Archives Canada)



Figure 5 : Branches d'arbres tombées à la suite de la tempête de glace. (Source : Environnement et Changement climatique Canada)



À la suite de la tempête de verglas, plusieurs mesures fondées sur les leçons apprises ont été mises en œuvre. Par exemple, la province de Québec a adopté une loi obligeant toutes les municipalités à préparer un plan d'urgence et a amélioré la communication entre les gouvernements provinciaux et les administrations municipales (Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2016). Hydro-Québec a aussi pris des mesures pour prévenir les pannes de courant, comme renforcer la structure des pylônes de transmission et ajouter ou enterrer des lignes de transport d'électricité (The Canadian Press, 2008). Bien que ces mesures soient largement axées sur la santé et la sécurité publiques, l'amélioration de la planification des urgences, des communications et des réseaux électriques contribuent également à la résilience des réseaux de transport.

Ouragan Juan à Halifax en septembre 2003

Certaines villes des provinces atlantiques ont également subi des graves répercussions d'événements météorologiques extrêmes, et selon les modèles climatiques, la fréquence de ces événements va augmenter dans cette région au cours du 21^e siècle (AMEC Inc., 2011). L'ouragan Juan, qui a frappé Halifax le 29 septembre 2003, est la tempête la plus destructrice de l'histoire de la ville en raison des effets de l'onde de tempête (hausse temporaire du niveau de la mer), des inondations importantes et des vents violents (Environnement Canada, 2013a). Les vents soutenus ont atteint une vitesse maximale de 160 km/h. Des rafales atteignant jusqu'à 230 km/h se sont abattues sur le port d'Halifax

et des ondes de tempête de 1,5 à 2 m ont occasionné une érosion importante des berges et la perte de voies ferroviaires (Bowyer, 2003a). Des conteneurs ont été soufflés par-dessus bord de navires dans le port, et plusieurs wagons ont été emportés dans l'Atlantique à la gare de triage de Dartmouth (Bowyer, 2003c). La volatilité de la tempête et les perturbations des services de transport qu'elle a causées ont contribué à la fermeture des entreprises et des écoles pendant cinq jours (Bowyer, 2003b). Les coûts estimés des dommages causés par l'ouragan Juan s'élevaient à 200 millions de dollars (Environnement Canada, 2013a). L'événement a incité les décideurs des provinces atlantiques à améliorer les processus de planification et de préparation en vue d'événements météorologiques extrêmes : des canaux ont été clairement établis pour la communication et la coordination entre les organismes d'intervention d'urgence provinciaux et locaux, et une formation spéciale sur l'intervention en cas d'ouragan a été offerte au personnel affecté aux urgences immédiatement après les événements (Government of Nova Scotia, 2003).

Figure 6 : Une onde de tempête provoque des dommages à un quai du port de Halifax. (Source : Environnement et Changement climatique Canada)



Inondations dans la région du Grand Toronto en juillet 2005 et en juillet 2013

Plusieurs événements extrêmes de tempête en été ont causé des perturbations et des dommages importants dans la région du Grand Toronto (RGT). En août 2005, des pluies intenses et des inondations ont coûté 47 millions de dollars à la Ville de Toronto (l'assurance couvrait une somme additionnelle de 500 millions de dollars en dommages) (McLeod, 2011). Un ponton majeur sur l'avenue Finch a subi des dommages de 4 millions de dollars en raison de l'affouillement (Ville de Toronto, 2014; McLeod, 2011; voir la figure 7).

Figure 7 : Une section de l'avenue Finch affaissée durant la pluie torrentielle du 19 août 2005.
(Source : Ville de Toronto)



De la même manière, durant une violente tempête en juillet 2013, 126 mm de pluie sont tombés sur la RGT sur une période de deux heures, causant 850 millions de dollars en réclamations d'assurance (Environnement Canada, 2014). Même si le taux horaire des précipitations (intensité) était plus élevé lors de cet événement que lors de l'ouragan Hazel, les dommages étaient considérablement moins importants en partie en raison des améliorations apportées aux politiques de planification d'urgence de l'Ontario après l'ouragan Hazel (Henstra, 2011; Aulakh, 2013). Néanmoins, les perturbations des transports ont été importantes. Les services de métro ont été interrompus en raison des inondations, les passagers des trains GO ont été évacués à l'aide de bateaux de la police et les automobilistes ont dû composer avec des routes affaissées. Cependant, les réseaux de transport dans la ville ont été presque entièrement rétablis le jour suivant (CBC News, 2013). Un certain nombre de mesures d'adaptation ont été relevées à la suite de cette crise, y compris l'élaboration de plans de prévention et de gestion des inondations plus robustes pour la vallée de la rivière Don, et l'installation de sources d'alimentation de secours en cas d'urgence dans les installations d'entretien des autobus et des locomotives.

Inondation de Calgary en juin 2013

Un dernier exemple important concerne l'inondation de la rivière Bow, à Calgary, en Alberta, en juin 2013. Au plus fort de la tempête, 200 mm de pluie sont tombés au cours d'une période d'environ 16 heures sur des sols sursaturés et, parfois, encore gelés (Davison et Powers 2013). À titre de catastrophe climatique la plus coûteuse au Canada à ce jour, l'inondation a causé des dommages dans la ville de Calgary estimés à plus de 6 milliards de dollars. Les dommages ont été causés aux ponts, aux ponceaux, aux routes (plus de 1 000 km) et à l'infrastructure de transport en commun (Environnement Canada, 2014). En outre, l'affouillement (l'érosion du sol d'assise par l'eau en mouvement rapide) a causé l'affaissement partiel du pont Bonnybrook, laissant six wagons du Canadien Pacifique suspendus au-dessus de la rivière Bow; peu de temps après, le pont a été mis hors service (Presse canadienne, 2014). Le Bureau de la sécurité des transports (2014) a jugé qu'« une crue sans précédent a contribué au déraillement » et a recommandé de procéder à des inspections plus fréquentes des ponts, de réduire la vitesse des trains dans les zones sujettes à l'affouillement, et d'investir dans la recherche de technologies de détection précoce pour les structures vulnérables à l'affouillement et à l'érosion.

Figure 8 : Wagons sur le pont ferroviaire de Bonnybrook en train de s'effondrer à la suite du déraillement du train qui s'est produit le 27 juin 2013. (Source : Bureau de la sécurité des transports du Canada)



2.2 TENDANCES ET PROJECTIONS CLIMATIQUES

La présente section offre un résumé des conditions climatiques projetées pour le 21^e siècle au Canada présentant un intérêt particulier pour le transport urbain. Parmi celles-ci, soulignons les suivantes :

- une plus grande variation et davantage d'extrêmes dans les températures de l'air saisonnières et annuelles;
- les changements dans la configuration des précipitations;
- une intensité et une durée accrues des vents, en particulier lors de tempêtes;
- les changements dans les configurations de la glace de lac et de mer;
- l'augmentation de la dégradation du pergélisol;
- les changements des niveaux d'eau dans les eaux côtières et les voies navigables intérieures;
- les combinaisons de ces changements climatiques.

Température de l'air

Au Canada, la température moyenne de l'air a augmenté de 1,5 °C de 1950 à 2010, et devrait augmenter d'environ 1,5 à 2,5 °C d'ici le milieu du siècle (dans le cadre d'un scénario de faible croissance des émissions) avec des chaleurs extrêmes plus fréquentes et de très grands froids moins fréquents (Bush et coll., 2014). Dans les villes, ces tendances sont exacerbées par l'effet des îlots thermiques urbains, à savoir la différence entre la température de surface et la température de l'air (typiquement de 10 à 15 °C pour les surfaces et de 1 à 3 °C pour l'air) dans les centres urbains et les secteurs ruraux environnants. L'effet des îlots thermiques urbains est dû à une combinaison de facteurs (figure 9), y compris ceux qui suivent :

- le manque de végétation dans les villes (qui régule la température);
- la faible capacité de réflexion des rayons solaires de l'infrastructure urbaine;
- la forte capacité d'absorption de chaleur des matériaux urbains (par exemple, l'asphalte noir) – les secteurs très développés offrent une capacité d'humidification de surface pour l'évapotranspiration (qui refroidit l'air ambiant) inférieure aux surfaces végétalisées en raison des revêtements imperméables comme la chaussée et le béton (de 75 à 100 % de couverture dans la plupart des villes);
- la production de chaleur anthropogénique (d'origine humaine), par exemple, la climatisation, les véhicules, les activités industrielles;
- la topographie urbaine, par exemple, les rues étroites limitent la capacité des bâtiments à réfléchir la chaleur la nuit et limitent le passage des vents refroidissant (US Environmental Protection Agency, 2008).

Les îlots thermiques urbains ont une incidence sur l'intégrité de l'infrastructure de transport, en particulier la chaussée. La figure 10 donne un exemple de carte d'îlot thermique urbain pour Montréal, au Québec.

Figure 9 : Une illustration du profil des îlots thermiques urbains. L'effet des vagues de chaleur est plus fort dans les zones urbaines que dans les banlieues et les zones rurales, sans doute à cause de l'effet d'îlot thermique. (Source : Ressources naturelles Canada)

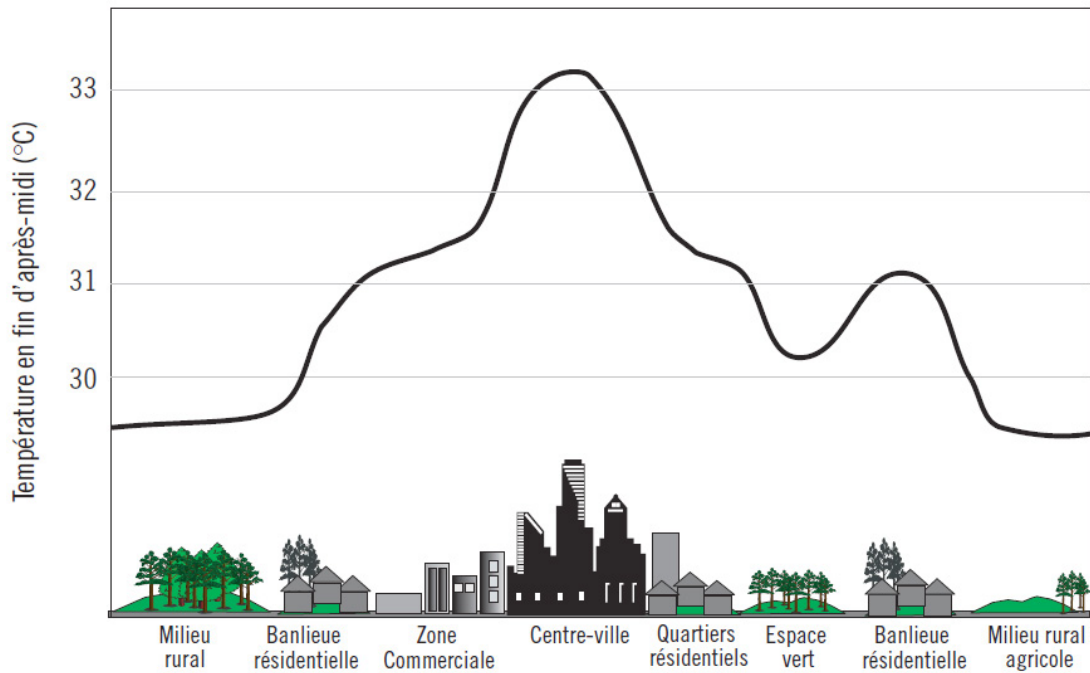
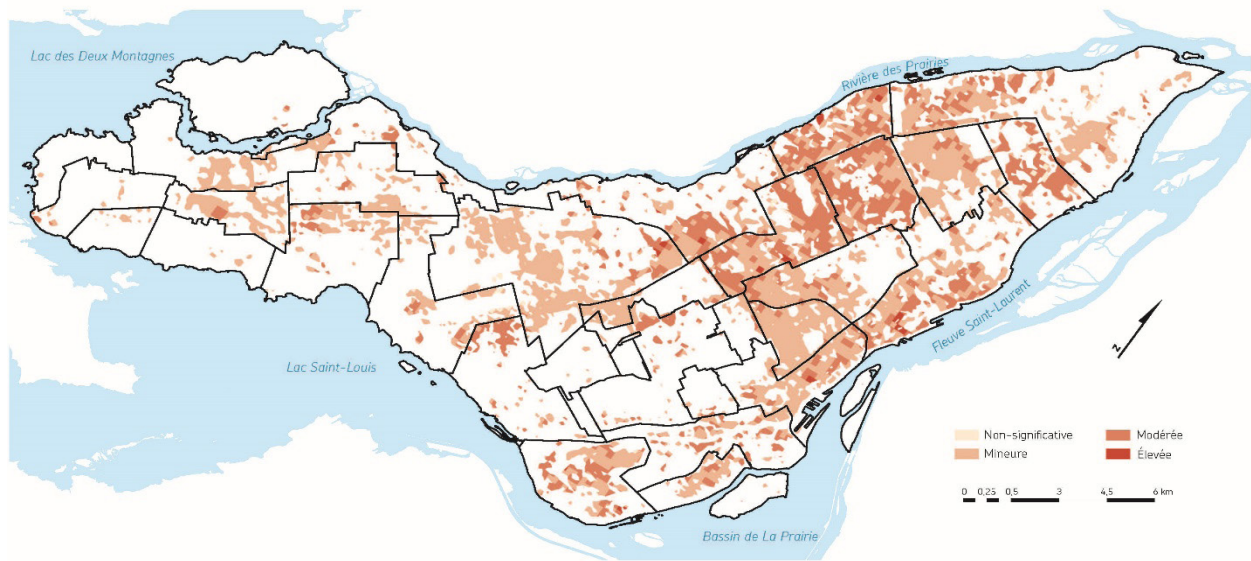


Figure 10 : Carte des îlots thermiques urbains pour Montréal, au Québec. (Source : Ville de Montréal)

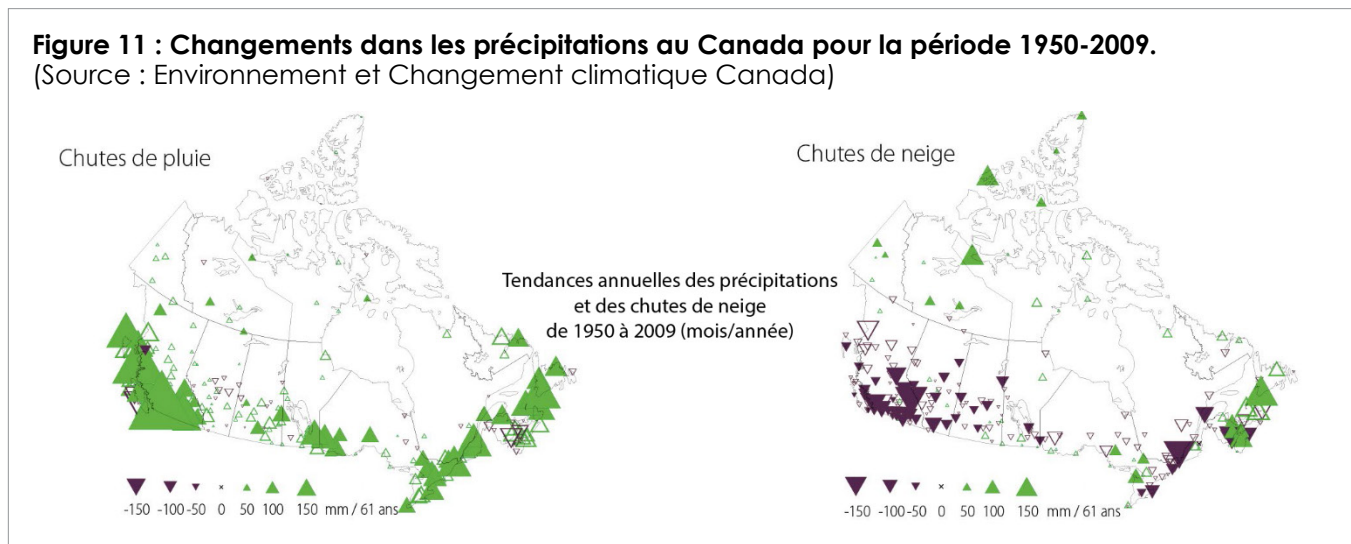
VULNÉRABILITÉ AUX VAGUES DE CHALEUR DE L'AGGLOMÉRATION DE MONTRÉAL



Montréal

Précipitations

Les changements projetés dans les précipitations au Canada comprennent une augmentation des précipitations en Colombie-Britannique et dans les provinces atlantiques, ainsi que des changements dans la répartition saisonnière des précipitations dans l'ensemble du pays (Bush et coll., 2014). On prévoit une augmentation des précipitations durant toutes les saisons dans la majeure partie du Canada, à l'exception d'une baisse en été dans le Sud-Ouest (Bush et coll., 2014). La figure 11 montre les changements dans la configuration des précipitations au Canada au cours des 59 dernières années.



Vent

Les changements dans les configurations de vent ont un lien avec les tendances et les extrêmes de température et de précipitations. Une étude suggère que l'intensité de la vitesse moyenne quotidienne du vent augmentera de 10 à 30 % partout au Canada d'ici la fin du 21^e siècle par rapport aux conditions de références de la période 1955-2009 (Cheng et coll., 2014). Toutefois, l'importance de ces changements demeure incertaine.

Glaces de lac, de rivière et de mer

Les changements dans la configuration des glaces de lac, de rivière et de mer présentent des risques pour les régions urbaines situées à proximité des cours d'eau et des océans. L'importance et la durée saisonnière de la glace intérieure sont sujettes à diminuer à mesure que les hivers deviennent plus doux; cependant, l'évolution des configurations des débâcles printanières présente des risques en ce qui concerne les inondations dues aux embâcles et la gestion des infrastructures sur les rivières et les lacs (Bush et coll., 2014). Par exemple, au printemps 2015, ce phénomène a entraîné l'évacuation d'urgence de Perth-Andover, au Nouveau-Brunswick (voir le chapitre 8) (Presse canadienne, 2015a).

Figure 12 : Un embâcle force l'ordre d'évacuation à Perth-Andover au printemps 2015. (Source : Caserne de pompiers de Perth-Andover)



Niveaux d'eau

Les niveaux des eaux intérieures et des océans devraient changer de façon considérable au Canada, bien que la direction du changement varie géographiquement. Alors que les niveaux devraient augmenter dans la majeure partie des côtes atlantique et pacifique, une grande partie de la côte nord connaîtra une baisse relative du niveau de la mer due à un phénomène connu sous le nom de « relèvement isostatique » qui fait en sorte que les terres autrefois écrasées par des glaciers décompressent lentement et remontent (Atkinson et coll., 2016). Alors qu'on s'attend à une baisse du niveau d'eau dans certaines voies navigables intérieures (comme les Grands Lacs) en raison d'une évaporation accrue, le niveau d'autres cours d'eau devrait augmenter, au moins temporairement (Bush et coll., 2014).

Pergélisol

La fonte du pergélisol est une problématique importante dans le Nord du Canada, où l'infrastructure est construite sur des sols reposant sur du pergélisol (Prowse et coll., 2009; Association des transports du Canada, 2010a) (voir le chapitre 3).

Les variations de température peuvent également changer la nature des risques liés au transport en hiver. Par exemple, les zones habituellement frappées par des chutes de neige pourraient connaître une augmentation des précipitations de pluie verglaçante et de la formation de glace noire.

2.3 RISQUES CLIMATIQUES POUR LE TRANSPORT URBAIN

Les réseaux routiers, les systèmes de transport ferroviaire et les réseaux de transport actif sont vulnérables aux risques climatiques et météorologiques extrêmes de deux façons principales. Tout d'abord, les opérations peuvent être perturbées par des événements météorologiques extrêmes et les droits de passage obstrués, comme décrit à la section 2.1. Deuxièmement, l'infrastructure est structurellement et physiquement vulnérable aux variations croissantes projetées de certaines variables climatiques (par exemple, la température et les précipitations). L'infrastructure peut être exposée à des intempéries extrêmes dont les conceptions techniques originelles n'ont pas tenu compte, car on croyait que les extrêmes climatiques historiques représentaient avec exactitude les conditions futures (voir encadré). Les événements violents de même que les changements graduels des conditions météorologiques « moyennes » peuvent donc réduire la durée de vie et le rendement des infrastructures et augmenter les coûts d'entretien et d'exploitation (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014). Le tableau 1 donne un aperçu des impacts des changements climatiques sur les systèmes de transport urbain.

VULNÉRABILITÉS RÉGLEMENTAIRES : CODES, NORMES ET OUTILS CONNEXES (CNOOC)

On pourrait appeler « vulnérabilité réglementaire » l'omission de suffisamment tenir compte de l'évolution des conditions climatiques dans l'élaboration et l'application de normes d'ingénierie et l'aménagement du territoire. Une enquête sur les études de cas qui ont utilisé le Protocole d'ingénierie du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP)⁵ s'est penchée sur le rôle joué par les codes, les normes et les outils connexes (CNOOC) à l'égard de l'infrastructure résiliente (Ingénieurs Canada, 2012). L'enquête a révélé que certaines administrations appliquent les codes nationaux directement, que certaines modifient les codes nationaux et que d'autres élaborent des codes adaptés afin de tenir compte de la géographie locale et des préférences en matière de tolérance au risque. Selon le rapport, il est possible que l'adoption d'un « facteur d'ajustement climatique » dans les CNOOC au niveau national ne révolutionne pas les pratiques locales, mais les auteurs suggèrent que les mises à jour fréquentes en fonction des projections des modèles climatiques pourraient aider les praticiens à adapter leurs CNOOC. D'autres outils à ajouter aux CNOOC ont été considérés comme très appropriés pour le Canada, au nombre desquels figurent les suivants : le jugement professionnel et l'orientation de la gestion en fonction des conditions locales; les pratiques acceptées dans les régions; l'entretien, l'opérabilité et les considérations en matière d'approvisionnement; d'autres facteurs sociaux, environnementaux et économiques (Ingénieurs Canada, 2012).

⁵ Le Protocole d'ingénierie du CVIIP, dirigé par Ingénieurs Canada, est un processus en cinq étapes mis sur pied pour analyser la vulnérabilité de l'ingénierie des systèmes d'infrastructure individuels en fonction du climat actuel et des projections climatiques. Pour de plus amples renseignements, consultez l'adresse suivante : <http://pievc.ca/>

3.0 INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE URBAINE

L'infrastructure routière urbaine comprend les routes pour les véhicules (c.à.d. les camions et les autobus, que ce soit des trolleys ou des autobus diesel); l'électricité pour les feux de circulation, la signalisation et l'éclairage; les ponts et l'infrastructure de gestion des eaux pluviales (ponceaux, fossés et autres). Alors que le nombre de kilomètres véhicule parcourus (KVP) dans les villes canadiennes est légèrement en baisse (Perl et Kenworthy, 2010), le réseau routier demeure d'une importance cruciale pour les économies urbaines pour le mouvement du fret et des passagers. Cela est particulièrement vrai dans le cas des villes dépourvues de solides corridors pour le transport en commun entre les centres urbains et les banlieues.

PRÉCIPITATIONS

Les précipitations affectent les routes urbaines et les ponts de diverses façons. L'affouillement (causé par l'instabilité du sol ou du talus lorsque l'eau s'infiltré dans la sous-structure de la chaussée) et les inondations entraînent souvent des retards, des détours et la fermeture des routes, réduisant la mobilité et augmentant le temps de déplacement à la fois pour les voitures et le transport en commun par autobus (United States Federal Highway Administration, 2015; Andrey et Mills, 2003). Les épisodes de précipitations de forte intensité perturbent l'alimentation électrique pour la signalisation routière et d'autres infrastructures de soutien, causent des perturbations du réseau routier lorsque les volumes de ruissellement dépassent la capacité des ponceaux et des étangs de collecte des eaux de ruissellement, et surpassent la perméabilité des matériaux de construction, réduisant la sécurité routière (augmentant le risque d'accident et le risque d'affouillement des ponts (Andrey et Mills, 2003; Transportation Research Board, 2008; Revi et coll., 2014) Par exemple, le 29 mai 2012 à Montréal, 45 mm de pluie sont tombés en moins d'une heure, entraînant des crues éclair et la fermeture de rues.

Alors que la proportion des chutes de neige comme précipitations hivernales est susceptible de diminuer au Canada au cours du 21^e siècle (Bruce, 2011), les tempêtes hivernales extrêmes produisant de fortes chutes de neige continueront de perturber les routes et le transport en commun. Ces événements pourraient entraîner des retards importants dans les services, comme ce fut le cas à Ottawa, en 2013, lorsque de fortes chutes de neige ont entraîné des pertes de traction et l'embourbement des autobus (CTV News, 2013).

Les événements de pluie verglaçante sont sujets à devenir plus fréquents dans de nombreuses régions du Canada (Cheng et coll., 2011), provoquant l'accumulation de glace, le blocage de routes et des pannes de courant dus aux chutes de branches d'arbres et à l'affaissement de lignes électriques, et posant des risques pour la sécurité routière dans les zones urbaines (Andrey, 2010; Andrey et coll., 2013). L'utilisation accrue de sel pour lutter contre les conditions routières glacées contribue à la corrosion des infrastructures en béton et a des répercussions négatives sur la santé des écosystèmes et des sources d'approvisionnement en eau en milieu urbain en bordure de route (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014).

TEMPÉRATURE

Le stress lié au climat que subissent les mélanges de revêtement est un problème croissant pour les exploitants routiers. Alors que la plupart des revêtements d'asphalte et de béton utilisés au Canada sont conçus pour résister à des températures variant entre -20 °C et 30 °C, les températures prévues dans de nombreuses villes canadiennes au cours du 21^e siècle dépassent ces limites. Durant les épisodes de chaleur extrême pendant les mois d'été, le ramollissement, l'orniérage, le ressuage et la remontée de l'asphalte devraient augmenter en fréquence et en gravité (Mills et Andrey, 2002). Le ramollissement et l'orniérage se produisent lorsque les voitures écrasent le revêtement chaud (Mills et coll., 2009). Le ressuage se produit lorsque le bitume ressort de la surface de traitement de la chaussée (la couche imperméable sur laquelle les véhicules circulent); la remontée se produit

lorsque le bitume remonte jusqu'à la frange de l'enrobé bitumineux, mais pas au-delà de la surface bitumineuse imperméable. Alors que le ressuage provoque des dommages plus graves à la chaussée, les deux phénomènes réduisent l'intégrité de la chaussée (Texas Department of Transportation, 2006). Le ramollissement de la chaussée conduit également à la réduction des charges maximales sur les routes municipales, à une diminution de la qualité de roulement et du rendement des véhicules, à des coûts d'entretien accrus, et réduit la durée de vie des routes, des ponts et des ponceaux (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014). Dans des conditions de chaleur extrême, les camions et les autobus endommagent plus lourdement les routes que les automobiles en raison de leurs limites de charge de châssis et de leurs capacités de chargement de passagers plus importantes, ce qui exacerbe les problèmes d'orniérage des chaussées et de cisaillement (Savonis et coll., 2008).

Par ailleurs, la chaleur extrême produit également un stress thermique chez les travailleurs de la construction (Transportation Research Board, 2008); les jours d'été particulièrement chauds, il peut ne pas être sécuritaire ou possible d'effectuer des travaux de construction pendant les heures de pointe durant le jour (United States Federal Highway Administration, 2015).

L'infrastructure des ponts est également vulnérable à la chaleur extrême. Les ponts sont conçus pour résister à une certaine activité d'expansion et de contraction au moyen des matériaux flexibles intégrés entre les points fixes. Cependant, à mesure que les températures augmentent, les limites de ces joints de dilatation peuvent être dépassées et causer le déplacement de matériaux ou la fissuration des matériaux du tablier, en particulier au niveau de l'interface à points fixes. La fissuration peut conduire à une détérioration substantielle du pont, entraînant des fermetures et de longs détours (Cohen et coll., 2005). De plus, tant la chaleur extrême que le froid extrême peuvent entraîner le dysfonctionnement des feux de circulation (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014).

En raison des changements dans les configurations saisonnières de température, la fréquence des cycles de gel et de dégel risque d'augmenter partout au Canada, et le moment et le début des événements de gel-dégel sont susceptibles de changer et d'avoir une incidence sur l'infrastructure routière (Transportation Research Board, 2008). Pendant les périodes de dégel, l'humidité s'infiltré dans les petites fissures, gèle et prend de l'expansion avec le retour du temps froid, puis fond (causant des faiblesses dans la chaussée) lors du prochain dégel (United States Federal Highway Administration, 2015). La chaussée devient alors plus sujette au cisaillement (craquage) et à l'orniérage, affectant l'intégrité et la stabilité des routes (Transportation Research Board, 2008; United States Federal Highway Administration, 2015). De plus, dans les climats nordiques, les cycles de gel et de dégel et la hausse des températures contribuent à la dégradation accrue du pergélisol, posant des risques pour la stabilité des routes urbaines et de leurs remblais (Woudsma et coll., 2007; Association des transports du Canada, 2010a).

CHANGEMENTS DANS LES NIVEAUX D'EAU

L'affouillement des ponts, causé par l'érosion du sable de soutien et de la roche sédimentaire autour des ponts construits sur les cours d'eau (Transportation Research Board, 2008), a affecté de nombreuses administrations canadiennes lors d'événements causant un niveau d'eau élevé (Environnement Canada, 2014). De même, les inondations et les ondes de tempête présentent des risques d'érosion des routes côtières – cela est particulièrement problématique dans les provinces atlantiques et en Colombie-Britannique (AMEC Inc., 2011). Vancouver a récemment été désignée la 15^e ville la plus vulnérable dans le monde à la hausse du niveau de la mer, avec des impacts probables sur l'infrastructure routière d'ici 2100 (alors qu'une hausse de 1,1 m du niveau de la mer est projetée). Ces impacts comprennent l'inondation, l'érosion et l'affouillement des rues du centre-ville situées dans des zones de faible élévation (Mills, 2016).

VENTS

Les données suggèrent que l'intensité des rafales (en moyenne et lors d'événements extrêmes) est susceptible d'augmenter au cours du 21^e siècle au Canada (Cheng et coll., 2008), mais avec une grande variabilité régionale (Cheng et coll., 2014). Les débris (par exemple, les lignes électriques, les arbres et les branches projetés au sol) causés par les vents forts peuvent bloquer les routes, les trottoirs et les pistes cyclables (Ville de Montréal, 2015), alors que les rafales de neige perturbent la visibilité durant les mois d'hiver (Andrey et coll., 2013). Les vents violents peuvent également causer la fermeture temporaire des ponts – par exemple, le pont Burlington Skyway près de Hamilton, en Ontario est fermé lorsque les vents atteignent ou dépassent 85 km/h (Craggs, 2014).

FEUX DE FORÊT

Les changements des configurations de température et de précipitations affectent la fréquence et la gravité des feux de forêt, en particulier dans les régions plus sèches de l'Ouest du Canada (les Prairies et la Colombie-Britannique). Les recherches récentes indiquent que la fréquence des feux de forêt augmentera au cours du 21^e siècle et que les organismes de gestion des incendies dans les zones côtières et tempérées devront possiblement adapter leurs capacités de planification et d'intervention pour faire face aux changements potentiels dans les régimes des feux (Wang et coll., 2015). Cela a une incidence sur le transport, en particulier sur la planification des interventions d'urgence. Par exemple, au cours des feux de forêt catastrophiques de 2011 à Slave Lake, en Alberta, le personnel affecté aux urgences a coordonné avec succès l'évacuation des résidents par la route, malgré l'épaisse fumée et la disponibilité de seulement quelques routes permettant de sortir de la ville (qui sont rapidement devenues congestionnées). Ce succès a été attribué à la planification et à la coordination entre les services municipaux et le personnel affecté aux urgences avant la crise (KPMG, 2012).

POSSIBILITÉS

Il existe également des possibilités pour le transport routier associées aux changements climatiques. Dans les villes du Sud, par exemple, la saison de la construction est susceptible d'être plus longue et les coûts d'entretien des routes en hiver pourraient être inférieurs en raison des hivers plus doux, et ce, en dépit d'une proportion croissante de la pluie verglaçante (Andrey et Mills, 2003; Fu et coll., 2009). Il reste à voir cependant quel sera l'impact de l'augmentation des cycles de gel et de dégel sur ces économies de coûts.

4.0 TRANSPORT FERROVIAIRE URBAIN

Les systèmes ferroviaires urbains comprennent les métros, les SLR et les tramways. Ils comprennent également les systèmes de transport de fret urbain, bien que les renseignements sur les systèmes ferroviaires régionaux et nationaux se trouvent dans les chapitres régionaux du présent rapport.

Des projets de transport en commun ferroviaires en cours et projetés, y compris ceux qui sont mentionnés ci-dessous, viennent compléter les systèmes de métro et de SLR actuels et fréquemment utilisés à Vancouver, Calgary, Edmonton, Montréal et Toronto. D'autres administrations dont les populations sont moins importantes commencent également à reconnaître les avantages d'investir dans le transport en commun rapide. Par exemple, la Ville de London a entrepris la phase de consultations publiques et de sélection pour le mode de transport en commun rapide, et la Ville de Victoria a entrepris les étapes de planification pour instaurer un SLR dans sa région métropolitaine. Ces projets démontrent un regain de l'intérêt et de l'appui du public à l'égard du transport en commun rapide en général, et pour les modes de transport sur rail en particulier.

- **Toronto** : SLR Eglinton-Crosstown et prolongement du métro à Scarborough (phase de construction);
- **Kitchener-Cambridge-Waterloo** : SLR ION (phase de construction);
- **Région du Grand Toronto et de Hamilton** : Électrification du réseau GO Transit (phase de planification);
- **Ottawa** : SLR, ligne de la Confédération (phase de construction).

PRÉCIPITATIONS

De nombreux systèmes ferroviaires urbains comptent sur les réseaux d'électricité municipaux; par conséquent, les locomotives et l'équipement de signalisation sont vulnérables aux pannes de courant dans des conditions météorologiques extrêmes (par exemple, de pluie et de neige). Les plates-formes de voies sont également soumises à un certain nombre d'impacts climatiques similaires à ceux des routes urbaines, y compris une stabilité réduite pendant les inondations et l'érosion lors d'événements extrêmes de précipitations (Mills et Andrey, 2002).

Comme pour les routes, les précipitations peuvent surcharger l'infrastructure de gestion des eaux pluviales qui protège le transport en commun sur rail souterrain, de surface et surélevé. Les événements météorologiques extrêmes peuvent entraîner des inondations et l'immersion des systèmes ferroviaires comme ce fut le cas à Toronto à l'été 2013 (Wooler, 2004). Les précipitations extrêmes survenues à Montréal en mai 2012 (dont il est question à la section 3) ont également entraîné la fermeture des tunnels et l'évacuation de plusieurs stations de métro (Ville de Montréal, 2015).

TEMPÉRATURE

L'infrastructure ferroviaire est sujette au gauchissement en cas de chaleur extrême, augmentant le risque de dysfonctionnement des capteurs, de retards et de limitations des vitesses, et □ dans les cas extrêmes – de déraillement (Savonis et coll., 2008). Les tunnels utilisés dans les systèmes souterrains de transport en commun ferroviaire peuvent également éprouver des difficultés opérationnelles en cas de chaleur extrême, y compris des problèmes mécaniques liés à la ventilation. Par conséquent, les exploitants sont tenus de convenablement tenir compte du confort, de la santé et de la sécurité des passagers (Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research (OFCM), 2002).

Le froid extrême affecte également le transport ferroviaire urbain. Par exemple, le système de métro de la Toronto Transit Commission (TTC) a été confronté à plusieurs pannes de courant dans des conditions de froid extrême en hiver 2015, principalement en raison du bris de conduites d'eau qui ont causé l'inondation des tunnels (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014). Les températures froides peuvent également causer le gel des commutateurs d'aiguillage de voie, causant des retards (Presse canadienne, 2015b). Toutefois, cette situation pourrait devenir moins problématique dans les villes du Sud si la fréquence des nuits et des jours froids diminue conformément aux projections (Bush et coll., 2014).

CHANGEMENTS DANS LES NIVEAUX D'EAU ET ONDES DE TEMPÊTE

Durant les périodes d'inondations dues aux embâcles saisonnières, les voies ferrées à proximité des plans d'eau et leurs remblais peuvent être inondés, affaissés ou érodés. L'affouillement représente aussi un risque pour les ponts ferroviaires comme le suggèrent les événements survenus à Calgary à l'été 2013 (voir la section 2.1).

VENTS

Les événements de forts vents posent également des risques pour l'infrastructure et l'exploitation ferroviaire, dont les dommages aux fils aériens et à l'équipement de signalisation en hauteur, et le renversement de wagons (OFCM, 2002). À l'instar des routes, les lignes de chemin de fer peuvent également être obstruées par la chute de débris, provoquant des retards dans les services.

POSSIBILITÉS

L'investissement dans le transport ferroviaire peut améliorer la redondance des réseaux de transport urbain, offrant des options de transport en commun lorsque les routes sont fermées, dangereuses ou congestionnées (encadré 1). Les projets de transport ferroviaire pourraient également bénéficier d'une saison de la construction plus longue en raison du raccourcissement des hivers (Transportation Research Board, 2008).

REDONDANCE DANS LES SYSTÈMES DE TRANSPORT URBAIN

La redondance est une méthode pour améliorer la résilience des réseaux de transport aux conditions météorologiques extrêmes et aux changements climatiques. Un système de transport redondant permet d'offrir aux voyageurs des choix de sorte que même lorsque des perturbations majeures de service se produisent (par exemple, une congestion extrême ou des affaissements), d'autres options sont disponibles et les voyageurs peuvent effectuer leurs déplacements et les économies peuvent continuer à fonctionner. Par exemple, dans les grandes villes comme Montréal et Toronto, si des inondations localisées causent l'arrêt du système de métro, les utilisateurs peuvent toujours se déplacer à pied, à vélo ou en autobus. Comme exemple opposé, soulignons la dépendance presque exclusive des voyageurs à l'égard de l'autoroute 401 dans la région du Grand Toronto et de Hamilton pour les déplacements entre Toronto et les points à l'Est et à l'Ouest. Si l'autoroute 401 devait être fermée, les réseaux de routes d'évitement et les autres modes de transport seraient insuffisants pour maintenir des temps de déplacement raisonnables et la fiabilité.

L'amélioration de la redondance ne signifie pas la construction de nouvelles routes, en particulier au-delà du niveau de la demande actuelle dans les corridors. Dans l'histoire de l'Amérique du Nord, la construction de routes supplémentaires a souvent stimulé une demande latente (cachée) pour l'augmentation de la capacité routière et a peu fait pour réduire la congestion, améliorer l'efficacité du réseau ou régler les problèmes liés à l'étalement urbain (Duranton et Turner, 2011).

5.0 TRANSPORT ACTIF

Les réseaux pédestres et cyclistes sont essentiels au déplacement des personnes dans les villes canadiennes. Les usagers du transport en commun, les cyclistes et les automobilistes à un certain point durant leurs déplacements, sont tous des piétons, et les installations piétonnières et cyclistes sont les formes les plus fiables de connectivité dans les villes. De plus en plus d'investissements dans les modes de transport actif sont effectués au niveau municipal au Canada pour aborder la question des préoccupations liées à la fois à l'atténuation et à l'adaptation aux changements climatiques (Younger et coll., 2008; Ayres, 2014). Bien que les avantages sociaux et environnementaux du transport actif soient largement diffusés dans les documents de planification municipale, ces modes sont également de plus en plus attrayants pour les courts trajets comme un moyen de gagner du temps alors que les villes canadiennes deviennent de plus en plus denses et congestionnées.

Les modes de transport actif offrent également une forme importante de redondance pour les réseaux de transport urbain (encadré 1). La marche et le vélo offrent un « filet de sécurité »

permettant les déplacements lorsque le transport mécanisé est temporairement impossible. Étant donné les avantages du transport actif en ce qui concerne la santé publique, l'insensibilité relative aux impacts des changements climatiques ainsi que leurs faibles coûts d'investissement et leurs impacts limités sur l'environnement, de nombreuses villes canadiennes (et ailleurs dans le monde) investissent de plus en plus dans ces modes de transport.

PRÉCIPITATIONS

Les systèmes de transport actif sont confrontés aux mêmes vulnérabilités que les routes en ce qui a trait à la dégradation de la chaussée, aux problèmes de gestion des eaux pluviales liées au ruissellement et à la perméabilité, et aux perturbations opérationnelles qui y sont associées (par exemple, les inondations et l'affouillement). Cela est particulièrement vrai pour les trottoirs et les pistes cyclables à proximité des routes urbaines, qui constituent la majorité des infrastructures de transport actif au Canada (Transports Canada, 2011).

On note une tendance consistant à laisser de côté la marche et le vélo lors d'événements de précipitations – toutes les formes de précipitations réduisent la proportion des déplacements effectués par l'entremise des modes de transport actif (Koatse et Rietveld, 2009). De même, la sécurité des piétons diminue par mauvais temps, alors que le nombre de blessures survenant à l'extérieur augmente considérablement durant les événements de précipitations hivernales (y compris la neige, la pluie et la pluie verglaçante) (Morency et coll., 2012). Malgré tout, le transport actif demeure une forme importante de redondance. Les voyageurs sont susceptibles de marcher par mauvais temps si les routes ou les lignes de transport en commun sont hors service, ce qui signifie que le volume de déplacements essentiels n'est pas affecté de manière considérable par les événements météorologiques violents (Koatse and Rietveld, 2009; Sabir et coll., 2010).

TEMPÉRATURE

Les températures extrêmes affectent également l'utilisation des modes de transport actif. La marche et le vélo durant les journées chaudes nécessitent plus d'efforts et peuvent poser des risques pour la santé, en particulier pour les populations vulnérables, comme les personnes âgées (Younger et coll., 2008), un phénomène aggravé par l'effet des îlots thermiques urbains (voir la section 2.2). Certaines recherches (Sabir et coll., 2010, par exemple) suggèrent que, par très grand froid, les cyclistes préfèrent le transport en commun et la marche, tandis que le contraire est vrai pendant les périodes de temps chaud extrême. Cependant, d'autres recherches (par exemple, Koatse et Rietveld, 2009) ont conclu que les températures extrêmement élevées ou extrêmement basses contribuent à réduire l'utilisation du vélo.

CHANGEMENTS DANS LES NIVEAUX D'EAU ET ONDES DE TEMPÊTE

Comme dans le cas des routes, les sentiers pédestres et les pistes cyclables (en particulier le long des routes côtières ou dans les parcs à proximité de l'océan) sont à risque d'inondation et d'affaissement en raison de la hausse du niveau de la mer et des ondes de tempête (Mills, 2016).

VENTS

L'infrastructure de transport actif a tendance à être moins vulnérable aux impacts structurels que les réseaux routiers et de transport en commun en raison de l'absence de véhicules lourds et motorisés. Toutefois, les sections aériennes des trottoirs et des pistes cyclables de même que la signalisation peuvent être endommagées par des vents violents lors d'événements météorologiques extrêmes (OFCM, 2002). Les vents violents sont également associés à une utilisation réduite du vélo (Koatse et Rietveld, 2009). Les vents forts constituent aussi un danger pour les cyclistes et les piétons à cause des débris qui volent ou tombent.

POSSIBILITÉS

Les hivers plus doux ayant moins de neige dans de nombreuses villes canadiennes contribueront à prolonger l'accès saisonnier aux infrastructures pour la marche et le vélo. Certaines villes du Nord considèrent les risques climatiques à l'infrastructure routière comme une occasion d'intensifier l'utilisation des modes de transport actif. Par exemple, Whitehorse a mis au premier plan le transport actif au cours des dernières années et a investi dans des installations cyclables de haut niveau. Cette décision est due, en partie, à l'augmentation projetée de la durée de la saison au cours de laquelle le cyclisme et la marche sont possibles pour la plupart des déplacements (Transports Canada, 2011).

Tableau 1 : Aperçu des impacts liés à chaque mode de transport urbain en fonction des éléments climatiques abordés dans la présente section.

	Facteurs climatiques	Impacts des facteurs climatiques sur les routes urbaines, les ponts, les trottoirs et l'infrastructure de soutien (gestion des eaux pluviales, signalisation, électricité)	Impacts sur les infrastructures de transport ferroviaire urbain, les activités et l'infrastructure de soutien (gestion des eaux pluviales, signalisation, électricité)
Précipitations	Événements de pluie et chutes de neige plus extrêmes; précipitations moyennes annuelles supérieures	<ul style="list-style-type: none"> • Immersions, inondations, érosion et affouillement des voies ferroviaires • Ponceaux bloqués, ce qui cause l'effondrement du ponceau • Blocages et perturbations des routes dus aux tempêtes de neige, de verglas, de pluie • Instabilité du support et des talus due à l'humidité accrue du sol • Retards dans les déplacements, détours et interruptions • Affouillement et fermetures des ponts • Retards et détours dans les services de transport en commun par autobus • Surcharge de l'infrastructure de gestion des eaux pluviales • Conditions de chaussée glissante plus fréquente sur le réseau routier (risque accru d'accidents de la route) • Perturbation des services publics (pannes de courant, par exemple) • Baisse du transport actif • Inondation des installations d'entreposage d'autobus 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstruction des voies ferroviaires et des aiguillages des voies ferroviaires • Retards dans le transport ferroviaire, inondations, immersions et fermetures des voies, des tunnels et des stations • Perturbations des services publics (pannes de courant, par exemple) pour les locomotives électriques et l'équipement de signalisation • Stabilité réduite de l'assiette des rails lors d'inondations • Érosion du remblai et des passages à niveau lors d'événement de pluie • Inondation des installations d'entreposage de train
	Augmentation des événements de pluie verglaçante	<ul style="list-style-type: none"> • Conditions de chaussée glissante plus fréquentes (en hiver) • Déplacement des modes de transport actif vers le transport en commun et l'automobile • Perturbation des services publics (pannes de courant, par exemple) • Utilisation accrue de sel – effets sur l'écosystème; dysfonctionnement des postes de signalisation; corrosion du béton 	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbation des services publics (pannes de courant, par exemple) • Voies ferroviaires entravées (par des branches tombées, par exemple) • Utilisation accrue de sel – effets sur l'écosystème; dysfonctionnement des postes de signalisation; corrosion du béton

	Facteurs climatiques	Impacts des facteurs climatiques sur les routes urbaines, les ponts, les trottoirs et l'infrastructure de soutien (gestion des eaux pluviales, signalisation, électricité)	
Température de l'air	Chaleurs accablantes	<ul style="list-style-type: none"> • Ramollissement de la chaussée et des trottoirs, ornières, bourrelets, ressuage et remontée • Réduction du confort des passagers, du rendement des véhicules et de la durée de vie des routes et des trottoirs • Expansion thermique des ponts • Stress thermique pour les travailleurs et les utilisateurs du transport actif (construction impossible ou dangereuse durant le jour) • Dysfonctionnements de la signalisation routière • Hausse des coûts d'entretien des routes et des véhicules • Diminution de la part du mode de transport actif; déplacement vers le mode de transport en commun et l'automobile • Augmentation de la demande d'électricité qui cause une panne d'électricité 	<ul style="list-style-type: none"> • Gauchissement des rails (limites de vitesse, déraillements, retards de service, dysfonctionnement des capteurs) • Dysfonctionnement des capteurs sur les voies ferroviaires
	Froids extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> • Dysfonctionnements de la signalisation routière • Diminution de la part du mode de transport actif; déplacement vers le mode de transport en commun et l'automobile 	<ul style="list-style-type: none"> • Gel des aiguillages des voies ferroviaires • Fissuration des rails • Perturbations des services publics (par exemple, les pannes de courant, bris des conduites d'eau causant des inondations dans les tunnels) pour les locomotives électriques, les équipements de signalisation et les tunnels
	Augmentation et déplacement des cycles de gel et de dégel	<ul style="list-style-type: none"> • Cisaillement et orniérage de la chaussée et formation de nids de poule • Dommages à l'infrastructure de gestion des eaux pluviales (fissures et déchaussement) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages aux voies ferroviaires et aux tunnels souterrains
	Dégradation du pergélisol (Nord)	<ul style="list-style-type: none"> • Déstabilisation des routes d'hiver (déchaussement, affaissement, défaillances du remblai, par exemple) • Déstabilisation des sentiers pédestres et des pistes cyclables • Impacts sur l'infrastructure de gestion des eaux pluviales, les conduites d'eau et les services publics souterrains 	<ul style="list-style-type: none"> • Déstabilisation de l'assiette des rails et du remblai • Ralentissement des commandes, réduction de la vitesse des trains

	Facteurs climatiques	Impacts des facteurs climatiques sur les routes urbaines, les ponts, les trottoirs et l'infrastructure de soutien (gestion des eaux pluviales, signalisation, électricité)	Impacts sur les infrastructures de transport ferroviaire urbain, les activités et l'infrastructure de soutien (gestion des eaux pluviales, signalisation, électricité)
Changements dans les niveaux d'eau et dans la configuration des glaces de lac et de mer	Inondations dues aux embâcles	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations saisonnières des routes • Perturbation des services publics (pannes de courant, par exemple) • Surcharge de l'infrastructure de gestion des eaux pluviales • Affouillement de ponts 	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations saisonnières des voies ferroviaires (voies à proximité des plans d'eau) • Érosion et affouillement du remblai • Inondations des tunnels (systèmes de transport au-dessous du sol)
	Hausse du niveau de la mer (sur la côte)	<ul style="list-style-type: none"> • Érosion, affouillement et inondation de la chaussée et des pistes cyclables • Affouillement de ponts 	<ul style="list-style-type: none"> • Érosion, affouillement et inondation des voies ferroviaires • Affouillement de ponts
	Ondes de tempête lors d'événements météorologiques extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations dues aux ondes de tempête (inondation des routes, des ponts, des autoroutes, des pistes cyclables et des trottoirs le long des côtes) • Surcharge de l'infrastructure de gestion des eaux pluviales 	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations dues aux ondes de tempête (inondation des voies ferroviaires côtières) • Érosion et affouillement du remblai • Surcharge de l'infrastructure de gestion des eaux pluviales
Vents	Augmentation de la vitesse moyenne quotidienne du vent et de la fréquence des événements de vents violents	<ul style="list-style-type: none"> • Besoins d'entretien accrus des structures de grande taille (par exemple, les lignes électriques et l'équipement de signalisation) • Mauvais fonctionnement des feux de circulation et dommages aux feux de circulation • Conditions de travail dangereuses en raison des débris emportés par le vent • Ponceaux bloqués (par exemple, arbres et débris) • Fermeture des ponts et dommages • Obstruction de la chaussée, des trottoirs et des pistes cyclables causée par les débris (lignes électriques affaissées, chutes d'arbres et de branches par exemple) • Perturbation des services publics et des communications en raison d'une panne d'électricité • Dommages aux pistes cyclables et aux trottoirs élevés • Utilisation réduite des vélos par temps de vents violents 	<ul style="list-style-type: none"> • Renversement des wagons en raison des vents traversiers à grande vitesse • Perturbation des services publics (pannes de courant, par exemple) • Obstruction et besoins d'entretien accrus en raison de la chute de débris (lignes électriques affaissées, chutes d'arbres et de branches par exemple) • Dommages aux fils électriques et à l'équipement de signalisation aériens
Feux de forêt	Feux de forêt plus fréquents	<ul style="list-style-type: none"> • Accès impossible ou congestionné aux collectivités et aux points d'évacuation 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun exemple recensé dans la littérature

6.0 PRATIQUES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LE TRANSPORT URBAIN

La réduction de la vulnérabilité des zones urbaines canadiennes aux changements climatiques et aux conditions météorologiques extrêmes nécessite une gouvernance et une collaboration efficaces au sein des gouvernements, des organismes de transport et d'autres secteurs municipaux et entre ces derniers. Au Canada, les cadres stratégiques et les programmes de financement fédéraux, provinciaux et territoriaux peuvent soutenir les efforts d'adaptation municipaux, alors que les organismes de transport public et privé sont chargés de fournir des services sécuritaires et efficaces dans la perspective de conditions météorologiques et climatiques plus variables.

Le partage des connaissances sur les pratiques relatives à l'infrastructure résiliente et les pratiques opérationnelles est également essentiel. Au niveau municipal, il existe un certain nombre de réseaux de partage des connaissances sur l'adaptation climatique, y compris ICLEI Canada (gouvernements locaux pour la durabilité). L'initiative Building Adaptive and Resilient Communities (Bâtir des collectivités adaptatives et résilientes, BARC) de ICLEI Canada (encadré 2) est un outil interactif en ligne conçu pour aider les gouvernements locaux à recenser et à adopter des stratégies d'adaptation au climat. Les municipalités membres reçoivent un soutien un à un offert par le personnel pour l'utilisation de l'outil (ICLEI, 2010), et le transport est l'un des aspects névralgiques du programme.

INITIATIVE BÂTIR DES COLLECTIVITÉS ADAPTATIVES ET RÉSILIENTES (BARC)

L'initiative BARC fonctionne à l'aide d'un processus « par jalon » à cinq étapes :

- **Initier**, où les intervenants sont recensés et les résolutions du conseil sont prises pour aborder l'adaptation;
- **Rechercher**, où il faut déterminer les changements climatiques probables et l'évaluation des risques;
- **Planifier**, où les objectifs, les mesures et l'établissement des budgets d'adaptation sont mis en place;
- **Mettre en œuvre**, où les mesures sont mises en œuvre et le soutien politique est solidifié;
- **Surveiller et examiner**, où l'efficacité des mesures est établie, les succès sont communiqués et les examens sont effectués (ICLEI, 2010).

Les stratégies d'adaptation peuvent être placées dans les cinq dernières catégories en fonction de leur style d'intervention, selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2014).

STRATÉGIES DE GESTION DES RISQUES EN CAS DE CATASTROPHE

Ces stratégies sont connues des municipalités et ont aidé de nombreuses villes à réduire avec succès les impacts des événements météorologiques violents dans le passé (par exemple, l'ouragan Juan à Halifax, les feux de forêt à Slave Lake). Les exemples incluent la modification des procédures de gestion des urgences à la lumière des impacts climatiques vécus ou attendus, et l'évaluation des risques organisationnels à l'aide de programmes informatisés et de logiciels, et autres. Récemment, Calgary et Toronto ont connu une expérience en matière d'intervention en cas de catastrophes climatiques à la suite des événements météorologiques violents qui se sont produits dans les deux villes en 2013 (Davison et Powers, 2013). Les exemples incluent la mise à jour des plans de préparation en vue d'inondations, d'incendies, de tsunamis et d'ouragans et la mise à jour des cartes des zones inondables.

ADAPTATION DE L'ESPACE ET DE L'AMÉNAGEMENT

Cette catégorie de stratégies comprend la modification des procédures pour le contrôle de l'aménagement et de la conception des infrastructures dans certains secteurs afin de prendre en considération les impacts climatiques passés ou attendus. Les conceptions de routes à faible impact comprennent des normes qui visent à réduire à la fois les quantités totales et les taux de ruissellement, et les méthodes naturelles pour atténuer le ruissellement (National Cooperative Highway Research Program, 2006), comme l'obligation d'utiliser des matériaux perméables (Credit Valley Conservation Authority, 2014). Ces conceptions s'appliquent également au transport actif – par exemple, les lignes directrices des North American City Transportation Officials (NACTO) pour les trottoirs et la conception des pistes cyclables reconnaissent l'importance des considérations à faible impact pour la gestion des eaux pluviales. Cela comprend l'augmentation de la perméabilité des matériaux de construction (en réduisant simultanément les coûts à long terme de l'entretien des infrastructures) pour gérer le ruissellement excessif (NACTO, 2012).

Un autre exemple comprend l'apport de modifications au zonage ou aux exigences de construction basées sur la cartographie des zones inondables, l'évitement du routage du transport à travers les zones vulnérables, ou l'exigence que l'infrastructure soit élevée au-dessus d'un certain point (AMEC Inc., 2011). De plus en plus, les municipalités reconnaissent que le fait de considérer l'aménagement et le transport en même temps permet de réduire la vulnérabilité aux changements des conditions environnementales (Larrivée, 2010).

MESURES D'ADAPTATION STRUCTURELLES ET PHYSIQUES

Possiblement la catégorie de mesures d'adaptation la plus tangible, ces stratégies comprennent des solutions basées sur l'ingénierie pour améliorer la résilience physique des réseaux de transport urbain. Aux fins d'adaptation aux précipitations plus fréquentes et plus intenses, les praticiens peuvent élargir les ponceaux, les accotements et les fossés pour améliorer la gestion des eaux pluviales et l'écoulement laminaire, et construire des puits de gravier plus profonds sous les routes et les rails (Savonis et coll., 2008). Les risques d'inondation dus à la hausse du niveau de la mer et aux ondes de tempête peuvent être atténués par la construction de digues et au moyen d'autres techniques de gestion des inondations dans les zones urbaines de faible élévation pour protéger les routes et autoroutes (AMEC Inc., 2011; Mills, 2016).

Aux fins d'adaptation aux changements de températures, les municipalités peuvent utiliser des matériaux de substitution pour obtenir un revêtement plus résistant à la chaleur et à l'orniérage, ainsi que des conceptions de chaussées résistantes à l'orniérage, par exemple, des surfaces plus minces (Andrey et Mills, 2003; United States Federal Highway Administration, 2015). Par exemple, le système « SuperPave » du ministère des Transports de l'Ontario est un système de sélection de matériaux qui utilise les données météorologiques de stations locales et les données de rendement du revêtement pour orienter le choix de mélanges d'asphalte appropriés résistant à la chaleur et à l'orniérage pour les routes provinciales et certaines municipalités ontariennes (ministère des Transports de l'Ontario, 2013) (voir le chapitre 6). La Ville de Toronto a également installé des ventilateurs de refroidissement pour les appareils de signalisation routière et l'infrastructure de systèmes de transport intelligents (STI) pour réduire les risques liés à la chaleur (Ville de Toronto, 2011).

Pour les infrastructures de transport construites sur du pergélisol en voie de réchauffement dans les villes du Nord, les stratégies d'adaptation comprennent la stabilisation mécanique des remblais et la suppression du pergélisol avant la construction; ces méthodes sont toutefois extrêmement coûteuses (Cheng, 2005; United States Arctic Research Commission Task Force, 2003). L'installation de galeries antineige, de conduits d'aération et de thermosiphons peut également protéger les routes et les voies ferroviaires contre le réchauffement des températures (Reimchen et coll., 2009). Dawson City a installé un revêtement de couleur claire sur la rue principale de la ville afin d'augmenter la réflectivité et de réduire l'impact des températures plus élevées sur le pergélisol (Walsh et coll., 2009).

Autres mesures d'adaptation structurelles et physiques :

- Installation des infrastructures d'alimentation de secours pour l'alimentation des fils électriques aériens (par exemple, pour les trolleybus et les tramways) et de la signalisation (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014).
- Élévation des routes et des voies ferroviaires dans les zones inondables (AMEC Inc., 2011; Koatse et Rietveld, 2012).
- Activités intensives de « prévention des inondations » dans les corridors de circulation visant à remplacer les ponceaux et à installer des capteurs d'inondation sur l'infrastructure ferroviaire (Groupe de travail sur les transports et l'environnement, 2014).
- Imperméabilisation des boîtiers de disjoncteurs et d'autres installations souterraines qui fournissent l'alimentation au métro (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014).
- Entretien régulier des systèmes de gestion des eaux pluviales, en particulier les ponceaux, pour maintenir la capacité, et conception de systèmes de drainage pour diriger le ruissellement loin de la chaussée (plutôt que parallèlement à la chaussée), évitant ainsi l'érosion de la chaussée et l'exposition des services publics (Ville de Toronto, 2014).
- Maintien d'une pente latérale positive pour faciliter l'écoulement de l'eau de la surface des routes, et augmentation des capacités des ponceaux et des fossés (United States Federal Highway Administration, 2015).
- Étanchéisation et/ou élévation, s'il y a lieu, des événements et des trous d'homme au niveau de la rue, protection des stations de pompage souterraines, des boîtiers de disjoncteurs et d'autres installations souterraines qui alimentent les systèmes de métro (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014).
- Élévation de tronçons de routes, de trottoirs et de pistes cyclables vulnérables au-dessus du niveau de la mer ou des niveaux de crue projetés (Schwartz, 2011).

ADAPTATION INSTITUTIONNELLE

L'adaptation institutionnelle réfère à l'adoption de politiques visant les changements climatiques. Cela comprend des modifications à la prestation des services des organismes de transport, et des approches relatives à l'entretien des infrastructures. Par exemple, pour les lignes de chemin de fer qui font l'objet de gauchissement, la réduction du service ou de la vitesse pourrait être mise en œuvre au moins à court terme pour assurer la sécurité (Savonis et coll., 2008). Cette catégorie comprend également ce qui suit :

- Mesures de financement novatrices disponibles aux municipalités pour l'adaptation, tels que :
 - des « obligations vertes » (des instruments de créance utilisés pour lever des capitaux privés pour des projets à des fins environnementales précises, y compris le transport en commun et le transport actif);
 - des abattements fiscaux locaux ou incitatifs pour des toits verts et d'autres infrastructures et pratiques de gestion des eaux pluviales qui peuvent produire des avantages pour le transport en matière de réduction du ruissellement;
 - des subventions intergouvernementales ciblées pour des infrastructures de transport résilientes (Harford et coll., 2015).
- Pratiques organisationnelles déterminées au moyen du protocole d'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques du CVIIP (Comité vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques). Par exemple, les recommandations découlant d'une évaluation du CVIIP des

impacts liés à l'augmentation des températures et des précipitations sur les routes et les structures associées à Sudbury comprenaient ce qui suit :

- suivi annuel plus étroit des données hydrauliques relatives aux ponceaux ainsi que des indicateurs clés de rendement de la chaussée (par exemple, les cycles de gel et de dégel, les températures moyennes et extrêmes);
 - modification des mélanges de la chaussée afin de mieux résister à la chaleur (SuperPave);
 - réalisation d'analyses de sensibilité sur la stabilité du talus d'accotements à haut risque;
 - amélioration de la couverture par les arbres le long des routes à faible vitesse pour réduire l'effet des îlots thermiques (Ingénieurs Canada, 2014).
- Planification organisationnelle, pratiques financières et de gestion des risques. Un exemple est le travail entrepris par TransLink pour intégrer les risques climatiques dans les processus de prise de décision, une responsabilité qui incombe à leur directeur financier (voir la section 4).
 - Systèmes de transport intelligents (STI). Ces systèmes sont de plus en plus répandus et ont des applications d'adaptation potentielles dans les centres urbains. Les technologies STI peuvent aider les municipalités à « gérer de façon adaptative » la circulation routière, les pratiques d'entretien des infrastructures et les modèles d'investissement grâce à la collecte de données sur les opérations, l'intégrité structurelle de l'infrastructure et d'autres variables, y compris les données climatiques. Selon les recherches, les municipalités peuvent optimiser leurs opérations d'entretien des routes en hiver et économiser de l'argent à l'aide de renseignements en temps réel (Fu et coll., 2009). Un exemple est l'utilisation de systèmes d'information routière dans certaines villes canadiennes, qui fournissent des données en temps réel sur l'état et l'utilisation des routes pour les municipalités (Clean Air Partnership, 2012).
 - Pratiques de réduction de la glace. La recherche suggère que « l'application de sel anti-givrage préhumidifié jumelée à l'application de sable et au passage du chasse-neige réduisent les risques d'accident » (Andrey et coll., 2013) dans des conditions de routes glacées. Pour éviter ou résoudre les problèmes environnementaux liés à l'utilisation accrue de sel sur les routes glacées, les municipalités ontariennes emploient des solutions de remplacement à plus faible impact, c.-à-d., du jus de betterave, de la saumure de fromage (Clean Air Partnership, 2012).

MESURES D'ADAPTATION SOCIALE

Ces mesures d'adaptation comprennent des stratégies visant à tirer parti des réseaux sociaux pour accroître la sensibilisation et le temps de réponse lors d'événements extrêmes. Par exemple, de nombreuses municipalités utilisent maintenant les médias sociaux pour communiquer des avis et des alertes aux voyageurs au sujet des conditions routières et de l'infrastructure de transport actif (par exemple, les inondations) et les retards dans les services de transport en commun lors d'événements météorologiques extrêmes (Mims, 2010; White et coll., 2009). Le tableau 2 donne un aperçu des pratiques d'adaptation abordées dans le présent chapitre.

La section qui suit présente cinq études de cas décrivant des approches d'adaptation précises en matière de transport dans des villes canadiennes, y compris une description des endroits et des façons dont les mesures d'adaptation ont été appliquées, leurs avantages, leurs coûts, leurs compromis et les leçons apprises.

Tableau 2 : Exemples de pratiques d'adaptation pour le transport urbain (les citations se trouvent dans la section 6.0).

	Risques et impacts climatiques	Adaptations pour les routes, des ponts, et les infrastructures associées (y compris la signalisation, la gestion des eaux pluviales)	Adaptations pour l'infrastructure ferroviaire urbaine et les opérations
Précipitations	Précipitations extrêmes; inondations; volumes annuels plus élevés de précipitations	<ul style="list-style-type: none"> Mise à jour des règlements de zonage pour exiger des normes de construction à faible impact (par exemple, les revêtements perméables) Augmentation de la capacité de gestion des eaux pluviales (par exemple, l'élargissement des ponceaux, des accotements et des fossés); la construction de puits de gravier plus profonds sous la chaussée pour favoriser le drainage souterrain Exiger l'élévation ou le transfert des routes loin des laisses de crue Étanchéisation des événements et des trous d'homme au niveau de la rue Protection des chambres de pompes souterraines Installation de sources d'alimentation de secours pour la signalisation Amélioration des pratiques et des matériaux de drainage et d'entretien (par exemple, des matériaux poreux et perméables) Construction de digues ou d'autres infrastructures pour la gestion des inondations Réalisation d'évaluations de la vulnérabilité, mise à jour de la planification des mesures d'urgence et révision de la cartographie des zones inondables Surveillance des données hydrauliques et des indicateurs de rendement de la chaussée Inspections plus fréquentes des ponceaux et des ponts 	<ul style="list-style-type: none"> Exigences visant l'élévation des rails au-dessus des niveaux de crue Construction de puits de gravier plus profonds sous les assiettes des rails afin d'améliorer la perméabilité et le drainage souterrain; l'installation de systèmes de pompage pour les tunnels Imperméabilisation des événements au niveau de la rue, des boîtiers de disjoncteurs, des stations de pompage et d'autres installations souterraines qui fournissent l'alimentation au métro Réalisation d'évaluations de la vulnérabilité, mise à jour de la planification des mesures d'urgence et révision de la cartographie des zones inondables Utilisation des avis et des mises à jour de centres de régulation de transit pour les usagers des transports ferroviaires urbains Activités de « prévention des inondations » dans les corridors de circulation (par exemple, installation de capteurs d'inondation sur les locomotives, remplacement ou mise à jour des ponceaux)
	Proportion accrue de la pluie verglaçante dans les précipitations hivernales	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration des pratiques d'application de sel pour contrôler la neige et la glace (par exemple, en utilisant des matériaux à faible impact, en ajustant le moment et le mélange des applications ou du déneigement) Prise en compte des risques climatiques lors du renouvellement des infrastructures Amélioration du suivi en temps réel des conditions routières 	<ul style="list-style-type: none"> Installation de source d'alimentation de secours pour les fils électriques aériens et les principales installations d'entretien et d'entreposage de la flotte Émission d'avertissements de changement de services avant les fermetures les retards (par exemple, à l'aide des médias sociaux)

	Risques et impacts climatiques	Adaptations pour les routes, des ponts, et les infrastructures associées (y compris la signalisation, la gestion des eaux pluviales)	Adaptations pour l'infrastructure ferroviaire urbaine et les opérations
Température	Cycles de gel et de dégel	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi des cycles de gel et de dégel, des volumes de circulation et des exigences de rétablissement pour orienter les modifications budgétaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun exemple recensé dans la littérature
	Chaleur extrême (dilatation thermique des ponts, dégradation de la chaussée, gauchissement des rails, et autres)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de matériaux de revêtement résistant à la chaleur • Installation de systèmes de refroidissement pour les moteurs diesel • Augmentation de la fréquence d'entretien des ponts • Installation ventilateurs de refroidissement pour les feux de signalisation et de réchauffeurs d'aiguilles pour les utiliser dans des conditions de températures extrêmes • Augmentation de la fréquence de la construction nocturne • Utiliser des chaussées de couleur claire pour améliorer l'albédo 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation de systèmes de refroidissement et de réchauffeurs d'aiguilles • Réduction des limites de vitesse et des services pour faire face au gauchissement des rails • Modification des températures de contraintes pour réduire la probabilité de gauchissement des rails • Augmentation de la fréquence de la construction nocturne
	Froid extrême (défaillances électriques, fissuration de l'infrastructure et autres)	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre du suivi en temps réel des conditions routières (c.-à-d. le SIMR) 	<ul style="list-style-type: none"> • Chauffage pour les infrastructures de tunnel souterrain (par exemple, pour éviter les bris des conduites d'eau)
	Dégel et dégradation du pergélisol (déstabilisation du sol, des accotements)	<ul style="list-style-type: none"> • Installation de système de refroidissement à pierre concassée ou installation d'un système d'isolation ou de réfrigération du sol • Utilisation d'un revêtement de couleur claire pour améliorer l'albédo • Installation d'une infrastructure de préservation du pergélisol, comme des galeries anti-neige, thermosiphons, de conduits d'aération longitudinaux, de déneigement des pentes latérales et autres • Transfert des routes vulnérables • Révision des limites poids et de vitesse sur les routes d'hiver 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la fréquence d'entretien des ponts • Utilisation des réseaux de médias sociaux pour émettre des avis de service et des alertes • Renforcement des remblais • Installation d'une infrastructure de préservation du pergélisol, comme des galeries anti-neige, des thermosiphons, des conduits d'aération longitudinaux et autres • Dégagement des pentes latérales sur les talus de chemin de fer • Révision des limites de poids et de vitesse des trains passant dans des zones affaiblies

Risques et impacts climatiques	Adaptations pour les routes, des ponts, et les infrastructures associées (y compris la signalisation, la gestion des eaux pluviales)	Adaptations pour l'infrastructure ferroviaire urbaine et les opérations
Variation des niveaux d'eau et des configurations des glaces de lac et de mer	<p>Inondations en raison des changements dans les configurations des glaces de lac et de mer et dans les niveaux d'eau (inondations dues aux embâcles, ondes de tempête, hausse du niveau de la mer et autres)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investissement dans les digues, les murs de soutènement ou l'infrastructure de gestion du ruissellement • Amélioration de la capacité de gestion des eaux pluviales (par exemple, élargissement des ponceaux, des accotements et des fossés); construction de puits de gravier plus profonds sous la chaussée pour favoriser le drainage • Utilisation de revêtements perméables • Utilisation des réseaux de médias sociaux pour émettre des avis et des alertes aux voyageurs • Élévation des routes, des trottoirs et des pistes cyclables au-dessus des niveaux de crue (ou le déplacement s'il s'agit d'un problème récurrent) 	<ul style="list-style-type: none"> • Investissement dans les digues, les murs de soutènement ou l'infrastructure de gestion du ruissellement • Utilisation des réseaux de médias sociaux pour émettre des avis et des alertes aux voyageurs
Vents	<p>Domages à la signalisation, aux panneaux de signalisation et aux équipements associés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la conception des infrastructures en hauteur (c.-à-d., les ponts, la signalisation ferroviaire) pour les conditions de vent turbulent • Installation de sources d'alimentation de secours pour la signalisation pour les voitures, les piétons et les vélos 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la conception des infrastructures en hauteur (c.-à-d., les ponts, la signalisation ferroviaire) pour les conditions de vent turbulent Installation de sources d'alimentation de secours pour les signaux ferroviaires
Feux de forêt	<p>Accès impossible ou congestionné aux points d'accès aux collectivités</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mise à jour des plans d'intervention d'urgence pour l'évacuation • Élaborer un plan de continuité des activités pour les événements météorologiques extrêmes de manière à assurer les services essentiels 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun exemple recensé dans la littérature

Risques et impacts climatiques	Adaptations pour les routes, des ponts, et les infrastructures associées (y compris la signalisation, la gestion des eaux pluviales)	Adaptations pour l'infrastructure ferroviaire urbaine et les opérations
Généralités	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration des considérations relatives aux changements climatiques dans les pratiques de gestion des risques financiers, la gestion des actifs et la prestation de services • Émission d'« obligations vertes » pour lever des capitaux pour des projets d'infrastructure écologique • Mise en œuvre des remises fiscales locales et d'incitatifs pour les propriétaires fonciers privés pour améliorer la gestion des eaux pluviales • Accès à des subventions intergouvernementales ciblées pour les infrastructures de transport résilientes • Amélioration de la redondance au sein des modes de transport et entre ces derniers pour améliorer la résilience • Achat de véhicules de transport en commun (autobus et trains) mieux à même de résister aux conditions météorologiques défavorables • Accroissement de l'utilisation variée des terrains afin de réduire le nombre et la durée des déplacements de véhicules (réduction de l'usure des routes) • Établissement d'un calendrier pour l'évaluation de l'état, les conditions et les interactions climatiques des infrastructures • Réalisation d'exercices d'urgence dans l'ensemble des services municipaux (pour faire en sorte que le personnel et les équipements soient préparés) • Réalisation ou mise à jour de la cartographie des zones inondables afin de recenser les infrastructures et les actifs communautaires vulnérables • Modification ou mise à jour des règlements et des normes de zonage pour tenir compte de la hausse du niveau de la mer, imposer des marges de recul et autres 	

ÉTUDE DE CAS 1 : UN OUTIL NOVATEUR POUR ÉVALUER LES RISQUES CLIMATIQUES POUR LA VILLE DE TORONTO

L'adaptation des réseaux de transport de grandes villes est essentielle en raison de l'importance sociale et économique d'une capacité de mobilité sécuritaire et fluide. La Ville de Toronto prévoit que les risques liés au climat pour son système de transport augmenteront considérablement au cours des prochaines décennies (Ville de Toronto, 2008). Les décisions prises aujourd'hui concernant les investissements en capital, la prestation des programmes et les relations avec les partenaires clés seront importantes pour veiller à ce que la Ville améliore sa résilience aux changements climatiques.

Ce raisonnement a soutenu la décision de la Ville de Toronto pour élaborer une stratégie d'adaptation aux changements climatiques. Le conseil municipal de Toronto a fourni les avantages politiques nécessaires qui ont donné lieu à un rapport et à un programme intitulé « Ahead of the Storm : Preparing Toronto for Climate Change » (Ville de Toronto, 2008). Il s'agissait d'un exercice de dépistage multisectoriel pour évaluer de la vulnérabilité organisationnelle aux changements climatiques, y compris un examen des meilleures pratiques et des outils internationaux. Le transport était un centre d'intérêt principal d'un groupe de travail multipartite composé à la fois de membres de la Ville de Toronto et d'intervenants externes. Le rapport qui en a découlé a recommandé l'élaboration d'un outil pratique pour l'évaluation des vulnérabilités et des risques à l'infrastructure et aux opérations de transport de la Ville dans le contexte des phénomènes météorologiques extrêmes et de l'apparition lente des changements climatiques. La Ville a choisi un consortium de consultants pour créer le Climate Change Risk Assessment Tool and Process (CCRAT) (outil et processus d'évaluation des risques aux changements climatiques). Cette application logicielle permet aux fournisseurs de services et d'infrastructures de relever et de hiérarchiser les principaux risques liés aux changements environnementaux et climatiques, ainsi que pour évaluer les avantages des diverses mesures d'atténuation et d'adaptation.

La Direction des services de transport (DST) de la Ville de Toronto (DST) a fait preuve de leadership et a contribué à développer et à appliquer le projet pilote CCRAT. Les produits livrables comprenaient un document de synthèse, un processus d'évaluation, un outil logiciel et un manuel d'utilisation. Il s'agissait d'un exercice révolutionnaire pour la Ville. Avant le projet, la Ville ne savait pas s'il était possible de déployer un outil d'évaluation des risques avec les ressources et les connaissances disponibles.

En 2011, la DST a appliqué le CCRAT pour évaluer la vulnérabilité et la résilience de 90 actifs hautement prioritaires et services essentiels à sept événements météorologiques extrêmes. Durant une série de 15 ateliers d'une demi-journée, 14 évaluateurs de risques ont examiné 1 650 scénarios d'impact pour les périodes 2010-2020 et 2040-2050. L'équipe a élaboré des « scénarios de risque » (des combinaisons d'événements météorologiques extrêmes et d'impacts) en fonction des causes et des vulnérabilités relevées. Les impacts pourraient être multiples ou en cascade (à savoir, jusqu'à « quatre paliers d'impacts »), par exemple, les impacts économiques résultant des retards de transport causés par les fermetures de routes ou de voies durant des événements météorologiques extrêmes. Les évaluateurs de risques de la DST ont également relevé plus de 60 initiatives actuelles qui améliorent la capacité d'adaptation ainsi que 100 mesures d'adaptation à court et à long terme. Voici des exemples d'initiatives qui sont en cours :

- ajout d'appareils de chauffage et de ventilateurs dans les contrôleurs de feux de circulation;
- élaboration de lignes directrices pour la construction de rues « vertes »;
- coordination des efforts pour améliorer la verdure urbaine afin de réduire les effets des îlots thermiques urbains;
- utilisation d'une combinaison de chasse-neige et de camions d'application de sel afin de mieux réagir aux conditions de pluie verglaçante (Bureau de l'environnement de la Ville de Toronto, 2011).

Le développement et l'application du CCRAT ont été une occasion pour la Ville de faire preuve de diligence raisonnable à l'égard des citoyens et de renforcer la sensibilisation organisationnelle. Un autre





résultat clé a été l'élaboration d'une politique sur la gestion des risques liés aux changements climatiques de la ville, qui a permis d'établir les fondements institutionnels pour l'adaptation.

Les praticiens qui ont participé au CCRAT considèrent l'activité comme une réussite. L'utilisation simultanée d'une approche descendante (menée par la Ville) et d'une approche ascendante (menée par la communauté), lorsque cela s'y prêtait, a été considérée comme particulièrement bénéfique, de même que la mise en place d'un programme de travail bien défini dans lequel les rôles et les responsabilités de tous les intervenants étaient clairement délimités. Chaque groupe fonctionnel au sein de la DST a développé des attentes clairement définies pour les services qu'ils offrent et l'infrastructure qu'ils maintiennent. La nomination d'évaluateurs de risques spécialement formés pour chaque groupe a été considérée comme une partie intégrante de la cohésion organisationnelle. La sélection d'un chef évaluateur de risques en tant que gestionnaire de projet – un chef d'équipe ayant une expérience des systèmes de gestion de l'environnement, de l'évaluation des risques et une compréhension approfondie de la structure organisationnelle – était également cruciale.

Un certain nombre de leçons ont été tirées :

- Les praticiens laissent entendre que le CCRAT aurait été plus efficace si les interdépendances et les « risques synergiques » entre les secteurs public et privé (tels que l'énergie, les communications, les assurances et les finances) avaient été désignés avant sa mise en œuvre. L'engagement et la collaboration avec ces secteurs réduisent le risque de perturbations économiques à l'égard de la communauté, et permettent des possibilités de mettre en place une infrastructure plus adaptative et résiliente.
- Une autre déficience potentielle était que le « risque résiduel » (à savoir, le degré de risque qui reste une fois qu'une adaptation est mise en œuvre) n'a pas été évalué pour chaque mesure d'adaptation proposée durant cette phase. L'analyse des risques résiduels et l'analyse des coûts-avantages peuvent être des mécanismes utiles et importants pour aider les gestionnaires municipaux à prioriser les mesures d'adaptation.
- Les praticiens ont également cerné des défis liés à la communication efficace de l'ampleur des changements climatiques au public. La Royal Academy of Engineering (2011) note l'importance de consulter les utilisateurs des biens et des services en ce qui concerne les nouveaux niveaux de service potentiels, en plus des montants que les contribuables seraient prêts à payer pour un certain niveau de service. Un défi important pour l'industrie et les politiciens consiste à trouver la meilleure façon de communiquer au public les limites de la résilience et la nécessité de modifier la demande en matière d'infrastructure.

Dans l'ensemble, le CCRAT a aidé Toronto à fixer des objectifs organisationnels clairs sur la question de l'adaptation au climat, et permet à la DST de gérer ses actifs et ses services en conformité avec les priorités du conseil municipal relatives à l'excellence du service à la clientèle et à la réduction des coûts d'une manière transparente et entièrement responsable. Plus important encore, bon nombre des mesures d'adaptation relevées dans le CCRAT ne requièrent pas d'augmentations importantes dans les budgets d'investissement ou d'exploitation. Par exemple, l'amélioration des bases de données d'inventaire, l'adoption de systèmes de gestion de l'environnement, la formation et l'amélioration de la coordination sont une expression des principes de « meilleure gestion » et augmentent à la fois la capacité d'adaptation et l'efficacité organisationnelle, encourant peu ou aucun coût supplémentaire pour la municipalité. Il s'agit d'un exemple d'adaptation à « faible regret ». Le centre d'intérêt se déplace vers des mesures ambitieuses à long terme qui nécessitent des investissements supplémentaires. À l'été 2014, ces mesures ont reçu un soutien marqué de la part du conseil (par exemple, un nouveau système de gestion des ponceaux, approuvé pour 350 000 \$ pour dresser l'inventaire de tous les ponceaux de moins de 3 m de largeur dans le réseau routier de la ville). En somme, la Ville de Toronto considère le CCRAT utile tant pour le secteur public que privé pour évaluer leurs vulnérabilités respectives aux changements climatiques et pour établir la voie à emprunter en matière d'adaptation pour la résilience.

Rédigé avec la collaboration de Nazzeno Capano (Division des services de transport, Ville de Toronto) et Vesna Stevanovic-Briatico (Division des services de transport, Ville de Toronto).

ÉTUDE DE CAS 2 : ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES À LA VILLE DE MONCTON

De nombreuses villes des provinces maritimes ressentent déjà certains impacts liés au climat. À Moncton, au Nouveau-Brunswick, la fréquence des inondations causées par les tempêtes extrêmes et les changements dans la configuration des marées a augmenté au cours de la dernière décennie (Ville de Moncton, 2013). La ville de Moncton est située à la croisée de la rivière Petitcodiac et de la baie de Fundy, une région qui connaît l'une des amplitudes des marées les plus importantes au monde. Les inondations côtières et intérieures, ainsi que l'érosion, posent des risques importants à l'infrastructure de transport. La région devrait également connaître une hausse progressive du niveau de la mer de même qu'une augmentation importante des précipitations et des températures d'ici au milieu du siècle (AMEC Inc., 2011).

De 2010 à 2012, les collectivités de la région du Grand Moncton ont participé à la partie atlantique de l'Initiative de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR). Cette initiative de partage des coûts avec les gouvernements provinciaux et le gouvernement fédéral a été conçue pour recenser les menaces liées aux changements climatiques, les vulnérabilités et les outils d'adaptation utiles dans la lutte contre l'érosion et les inondations côtières et intérieures et pour la conception des infrastructures et la gestion des eaux souterraines. Le transport était l'un des centres d'intérêt de cette initiative, en grande partie en raison des problèmes historiques de la région liés aux infrastructures de transport et à l'infrastructure d'égout sanitaire située au-dessous des seuils d'inondation.

Voici les recommandations propres à la ville de Moncton qui découlent de l'exercice de CAR :

- bâtir de nouvelles artères pour éviter les zones de faible élévation et les zones inondables de la rivière Petitcodiac et ses affluents;
- élevez une nouvelle infrastructure routière et de ponts pour assurer l'accès aux services essentiels lors d'événements météorologiques extrêmes;
- assurer la prévention des inondations des routes principales situées à des élévations vulnérables afin de minimiser les dégâts causés par les inondations et d'assurer le rétablissement rapide du système;
- ordonner des élévations des niveaux de crue plus élevés dans les futures décisions de planification des transports (AMEC Inc., 2011). Une élévation minimale de 10,5 m a été proposée afin de tenir compte de la laisse de crue de l'événement centenaire qui devrait frapper la région en 2100 en fonction de la cartographie des zones inondables.

En guise de réponse, la Ville de Moncton a élaboré une Stratégie d'adaptation aux changements climatiques et de gestion des inondations en 2013, et a depuis mis en œuvre une série de changements stratégiques. Par exemple, la Ville :

- a changé son règlement de zonage pour définir la hauteur minimale du plancher pour les espaces habitables à 10,5 m;
- entend élever, lorsque c'est possible de le faire, les nouvelles routes et les ponts au-dessus du seuil de 10,5 m;
- a élaboré des plans d'évacuation étendus pour les routes vulnérables en cas d'un événement majeur d'onde de tempête;
- offre une remise de 500 \$ pour l'installation d'un clapet antiretour approuvé dans le cadre d'un programme d'incitation pour les propriétaires fonciers locaux.

Sur la base de ces initiatives, Moncton a élaboré un Plan directeur de transport durable régional qui aidera la Ville à évaluer la vulnérabilité de tous les modes de transport dans le réseau au moyen de scénarios détaillés de mobilité et d'inondation. Les résultats aideront la Ville à établir les priorités relatives aux améliorations des réseaux de transport et aux mises à niveau des rues. Les modèles et les scénarios





d'inondation permettent aux fonctionnaires provinciaux d'établir quels seront les intérêts (c.-à-d. l'infrastructure provinciale dans la collectivité) qui pourraient être touchés par les conditions futures. Des recommandations seront faites au conseil municipal en ce qui concerne les éléments d'infrastructure qui doivent faire l'objet de mises à niveau ou qui doivent être abandonnés, accompagnées d'une clarification des exigences budgétaires.

L'efficacité et la rapidité de la planification, des politiques et des pratiques en matière d'adaptation par Moncton peuvent être attribuées au soutien pour l'adaptation offert par tous les ordres de gouvernement. Au niveau municipal, le Comité des mesures d'adaptation aux changements climatiques, composé de membres du personnel de la plupart des services de la Ville, présente des rapports annuels au conseil. Les praticiens conviennent que le Comité a fait de l'excellent travail pour créer une responsabilisation en matière d'adaptation aux changements climatiques au sein des services et entre ces derniers. L'élaboration d'une approche intégrée à la fois au sein de la municipalité et avec les partenaires provinciaux et fédéraux s'est avéré une valeur inestimable.

Rédigé avec la collaboration d'Elaine Aucoin (Planification et gestion de l'environnement, Ville de Moncton) et Stéphane Thibodeau (Ingénierie et Services environnementaux, Ville de Moncton).

ÉTUDE DE CAS 3

ÉTUDE DE CAS 3 : ADAPTATION DU TRANSPORT AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES À LA VILLE DE WHITEHORSE, AU YUKON

Whitehorse est une importante plaque tournante du transport régional alors que les modes de transport ferroviaire, maritime et aérien ont tous contribué de manière importante à l'histoire de la ville. La ville repose en grande partie sur la route de l'Alaska pour la connectivité externe, et sur l'automobile pour la mobilité urbaine, bien que les services de transport en commun soient également disponibles. Le climat de la ville est relativement doux (par rapport aux autres communautés du Nord) et semi-aride en raison de son emplacement à l'ombre des montagnes côtières. Au cours des dernières années cependant, Whitehorse a connu des précipitations très variables, y compris de nombreux hivers où les chutes de neige ont dépassé la moyenne. Des changements climatiques de cette nature posent un certain nombre de risques pour le réseau de transport de la ville. L'augmentation projetée des feux de forêt de même que l'intensité, la durée et la fréquence des événements de tempête (et les préoccupations connexes liées aux inondations et au drainage) posent des risques indirects pour la circulation routière. Les responsables locaux ont désigné les obstacles de la route et les affaissements lors d'événements météorologiques extrêmes comme des préoccupations majeures, car elles pourraient empêcher la livraison de nourriture et d'autres biens essentiels. D'autres impacts sur les transports urbains comprennent l'augmentation de la fréquence des cycles de gel et de dégel; l'emprise sur les budgets d'entretien des routes l'hiver en cas d'importantes chutes de neige; et, une pression accrue sur les ponceaux en raison de l'augmentation de l'augmentation des précipitations en été et en hiver.

Pour répondre à ces préoccupations, la Ville de Whitehorse a participé à l'élaboration du Plan communautaire d'adaptation aux changements climatiques de Whitehorse en 2011 (Hennessey et Streicker, 2011). Des intervenants communautaires de divers secteurs ont participé au projet. Bien que le plan ne soit pas de force obligatoire en droit (le document est pertinent aux politiques, mais n'est pas déterminé par les politiques), il a contribué à « intégrer » les changements climatiques dans les processus décisionnels municipaux, ce qui signifie que les données et les projections climatiques ont été prise en compte dans les décisions en matière d'investissement et de planification. Les grands objectifs du plan comprennent l'augmentation de la part du mode de transport en commun, l'intensification du développement et l'augmentation de la part de la production agricole de la région par le truchement d'une planification de la sécurité alimentaire (y compris une production accrue de nourriture dans les





serres voisines afin de réduire la dépendance à l'égard des importations). Les mesures d'adaptation suggérées pour les transports urbains comprennent les suivantes :

- l'établissement de budgets annuels visant à gérer les préoccupations relatives aux changements climatiques, y compris la planification relative aux besoins accrus en matière de déneigement;
- l'accroissement de l'utilisation de stations de surveillance de la route;
- la réalisation d'études de faisabilité exploratoires sur des techniques de déglacage automatique des routes;
- l'augmentation de la porosité des surfaces des routes afin d'améliorer le rétablissement à la suite de précipitations.

Ces mesures d'adaptation comprennent à la fois des mesures à « faible regret » et « sans regret ». Par exemple, lorsque des améliorations aux routes sont nécessaires en raison du cycle de vie ou de l'état de l'infrastructure, le plan suggère que la Ville procède à une mise à niveau des systèmes d'aqueduc et d'égout afin de gérer les plus grands débits d'eaux pluviales. Cela ne nécessite qu'une légère augmentation des coûts marginaux dans le budget du projet. Par la même occasion, cette stratégie signifie que seules les routes approchant la fin de leur durée de vie ou en très mauvais état seront adaptées à court terme étant donné que le coût de remplacement de l'infrastructure utilisable par une infrastructure de plus grande capacité de drainage est prohibitif. Pour des raisons pratiques, cette approche d'adaptation doit être mise en œuvre de façon fragmentaire. Une adaptation « sans regret » sur le plan opérationnel requiert des inspections proactives au début du printemps des installations de drainage afin de repérer les égouts pluviaux gelés et de réduire les risques d'inondation.

Les inondations sont également une préoccupation pour les routes résidentielles de Whitehorse, alors certains lotissements plus âgés ont déjà connu des problèmes localisés attribuables aux systèmes de drainage défectueux. C'est pourquoi l'infrastructure de gestion des eaux pluviales dans les nouveaux lotissements est maintenant conçue avec des seuils de volume plus élevés. Whitehorse utilise en outre la redondance dans le transport comme solution d'adaptation à petite échelle; les lotissements doivent être construits avec plus d'un point d'accès par la route en cas d'affaissements, d'inondations ou de feux de forêt.

Rédigé avec la collaboration de John Streicker (Ville de Whitehorse) et de Jocelyn Beatty (Université de Waterloo).

ÉTUDE DE CAS 4 : SÉCURITÉ ROUTIÈRE ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES À PRINCE GEORGE

Prince George, situé à l'intérieur de la Colombie-Britannique, abrite environ 76 000 personnes. La ville dispose d'un large éventail de modes de transport, y compris le transport ferroviaire et maritime intérieur et le transport urbain. Alors que le réseau de transport de la ville est confronté à un certain nombre de risques liés aux changements climatiques, les températures hivernales plus douces sont susceptibles d'avoir le plus grand impact, principalement en raison de l'augmentation des cycles de gel et de dégel, des événements de pluie sur la neige et de pluie verglaçante. Les inondations résultant d'embâcles sur la Nechako et de la crue sur le Fraser sont une autre préoccupation majeure. Prince George a élaboré en 2012 un certain nombre de mesures d'adaptation aux changements climatiques propres au transport tenant compte des risques d'inondation posés aux routes, aux infrastructures de transport actif et aux installations ferroviaires. Ces démarches ont été entreprises dans le cadre d'un plan global d'adaptation communautaire.

Un comité d'orientation composé de praticiens locaux et de spécialistes du milieu universitaire (pour équilibrer les besoins locaux avec les pratiques exemplaires) a relevé 23 mesures d'adaptation prospectives relatives à l'infrastructure, aux opérations aux interventions d'urgence et à la sécurité, et au financement.

Par l'entremise du processus, la Ville a également cerné un certain nombre d'initiatives en cours qui font partie de l'adaptation aux changements climatiques. Les initiatives comprenaient le contrôle de la neige et des glaces, la gestion de l'utilisation du sel, l'élévation de la route et la construction de digues. Par exemple, à la suite d'une inondation résultant d'un embâcle dans une zone industrielle en 2008, la ville a relevé la chaussée à un niveau de crue possible qu'une fois par 200 ans, et a construit une digue de 3,3 km pour protéger l'infrastructure ferroviaire locale (Picketts, 2012). Dans ses recommandations finales de mesures immédiates, le comité a recommandé des changements à l'entretien des routes d'hiver, l'amélioration de la sécurité routière et des points à considérer pour la conception sensible au climat (Picketts, 2012). La Ville a établi le transport comme la plus haute priorité pour des mesures continues (Picketts et coll., 2013).

Prince George se concentre maintenant à mettre en œuvre les mesures de suivi dans les secteurs clés offrant des résultats prometteurs à brève échéance. La Ville a commencé à compiler des données climatiques de même que des renseignements sur les procédures afin de mieux orienter le processus décisionnel concernant l'entretien des routes, y compris des données sur les interactions des véhicules avec le climat. En ce qui concerne la conception des routes et la gestion des eaux pluviales, un certain nombre de nouveaux matériaux perméables ont été proposés aux fins de mise à l'essai. Les prochaines étapes comprennent ce qui suit :

- poursuivre les partenariats avec les universités et le gouvernement provincial;
- encourager les évaluations climatiques tous les nouveaux projets d'infrastructure;
- intégrer les données climatiques dans les critères de décision;
- maintenir le dialogue avec l'industrie du transport;
- encourager le partage de renseignements entre les membres du personnel de la Ville (Picketts, 2012).

La composante de transport a été considérée comme un succès par les praticiens compte tenu du niveau élevé d'intérêt public à l'égard des questions de mobilité; le caractère pratique des solutions a été examiné de même que les possibilités d'économies de coûts significatives. Cependant, un inconvénient à la mise au point du projet sur la sécurité routière en hiver a été le fait que relativement peu d'attention a été accordée aux modes actifs et de transport public (Picketts, 2014). À la lumière des commentaires des praticiens qui ont participé au processus de mise en œuvre, quatre principaux points à prendre en considération présentant un intérêt particulier pour l'adaptation dans les collectivités de taille moyenne du Nord ont été relevés :

1. bâtir et maintenir les connaissances locales et la capacité pour la prise de décisions concernant l'adaptation aux changements climatiques;



2. l'« intégration » ou la normalisation de l'adaptation dans les plans, les priorités et les pratiques professionnelles des fonctionnaires locaux;
3. priorité accordée aux projets concrets autour desquels la communauté peut se rallier et dont les résultats sont facilement reconnaissables;
4. établissement d'un lien entre les mesures d'adaptation et les coûts et les priorités au moyen d'une communication claire avec les politiciens et les membres du public (Picketts, 2014).

Cette étude de cas montre comment les collectivités peuvent réussir à intégrer les analyses climatiques rigoureuses dans les évaluations de la vulnérabilité en orientant la discussion sur la détermination de mesures explicites plutôt que sur le simple dépistage général des risques (Picketts, 2013). La mise en place d'une plus grande collaboration et l'adoption d'objectifs communs au sein de l'organisation municipale ont également été considérées comme essentielles pour maintenir l'élan généré par cette initiative.⁶

Rédigé avec la collaboration de M. Ian Picketts (University of Northern British Columbia).

⁶ Un article de journal universitaire résumant le travail entrepris en matière de transport à Prince George en est aux derniers stades de révision et sera inclus dans le prochain numéro de *Regional Environmental Change*.

ÉTUDE DE CAS 5

ÉTUDE DE CAS 5 : PRISE EN COMPTE DES RISQUES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES À TRANSLINK

TransLink est l'autorité de transport régional de Vancouver métropolitain dotée d'un système d'actifs et de services comprenant des autobus, des trains de banlieue, de pistes cyclables, des sentiers pédestres et des routes. Ce réseau dessert environ 1,2 million de voyages par jour.

L'organisation considère que la gestion des risques liés aux changements climatiques est importante pour la prestation des services et l'entretien et le développement des infrastructures, en particulier étant donné qu'elle construit l'infrastructure pour durer une centaine d'années. La croissance projetée de la population de la région devrait aggraver ces risques - Metro Vancouver devrait croître de 1 million de personnes au cours des 30 prochaines années, augmentant davantage la pression sur le système de transport de la région.

TransLink a commencé à étudier les impacts des changements climatiques en 2010 et a procédé à l'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques de ses actifs en 2012 à l'appui de son plan de gestion des actifs. Par l'entremise du processus, l'organisation a relevé les risques suivants liés aux changements climatiques à l'égard de ses services :

- Hausse du niveau de la mer qui pourrait :
 - inonder les actifs qui font maintenant des zones inondables « élargies »,
 - réduire la hauteur libre sous les ponts,
 - nuire aux activités du terminal SeaBus (service de transbordeur).
- L'augmentation des précipitations, qui pourrait provoquer l'inondation temporaire des actifs de TransLink tels que les circuits d'autobus, les tunnels, les stations de transport en commun et les stations de conversion électrique des trolleys.





- Les températures plus douces et les vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses, qui pourraient avoir une incidence sur la santé et le confort des passagers utilisant les éléments du parc de véhicules dépourvus de climatisation.

TransLink s'est également assuré que son service des finances et ses comptables jouent un rôle central dans ses efforts d'adaptation. Le dirigeant principal des finances (DPF) doit s'assurer que les risques liés aux changements climatiques sont pris en compte dans le processus décisionnel de TransLink. TransLink considère que cette structure est efficace, car elle intègre les changements climatiques dans l'ensemble de l'organisation créant des liens avec la gestion des risques, l'apport de stratégies, la planification et les processus d'examen relatifs aux immobilisations et l'établissement de rapports.

Rédigé par Kathy Palko, adapté de Comptables Professionnels Agréés Canada (2015) Étude de cas sur l'adaptation no 2 : TransLink⁷

⁷ CPA (2015) Étude de cas sur l'adaptation no 2 : TransLink. Repéré : <https://www.cpacanada.ca/fr/ressources-en-comptabilite-et-en-affaires/domaines-connexes/durabilite/publications/translink-changement-climatique-etude-de-cas-2>

7.0 INTERDÉPENDANCES AVEC D'AUTRES SECTEURS URBAINS

Les réseaux de transport urbain dépendent d'autres infrastructures et services publics (y compris l'électricité et les télécommunications) pour déplacer de manière efficace d'imposants volumes de personnes et de marchandises. Les interdépendances entre ces systèmes, l'économie et la société sont examinées dans la présente section.

L'électricité est l'une des principales interdépendances. La dépendance croissante de la mobilité urbaine à l'égard du réseau de distribution d'électricité (en particulier des SLR et des trains banlieue et, mais des automobiles et de l'infrastructure) peut créer une vulnérabilité multisectorielle lorsque des événements météorologiques extrêmes perturbent l'approvisionnement et la distribution d'électricité. Faire en sorte que les feux de circulation demeurent opérationnels pendant et immédiatement après les conditions météorologiques extrêmes est une autre préoccupation.

Les applications de systèmes de transport intelligents (STI) largement utilisées pour la gestion de la circulation et du transport en commun dépendent aussi de l'infrastructure de télécommunications qui peut être touchée par des conditions météorologiques extrêmes (Revi et coll., 2014). Sans une coordination adéquate, les interactions entre les conduites d'eau et les systèmes de transport en commun souterrains peuvent perturber les deux secteurs. C'est le cas tant dans le contexte de changements climatiques à évolution lente que lors d'événements météorologiques extrêmes. Par exemple, les tuyaux peuvent geler et fendre au cours de cycles de gel et de dégel ou dans des conditions de froid extrême, endommageant l'infrastructure de distribution de l'eau et perturbant les réseaux de transport en commun souterrains. Le système de métro de la Toronto Transit Commission a connu une situation semblable lors des derniers hivers (McLeod et Stevanovic-Briatico, 2014).

La capacité des organismes de transport de réduire les dommages liés aux événements météorologiques violents est donc affectée par la façon dont les autres divisions municipales et les fournisseurs de services publics (par exemple, les télécommunications et les services de distribution d'électricité) intègrent les considérations relatives aux changements climatiques dans leurs planifications et leur prestation de services. Ainsi, lorsqu'un secteur est à risque, beaucoup d'autres le sont également. Par exemple, si les inondations ou les vagues de chaleur perturbent l'approvisionnement en énergie, tous les autres services peuvent être affectés, provoquant des pannes et des interruptions en cascade. Si la circulation routière est perturbée, l'efficacité de toute une ville peut être réduite.

Dans les endroits où les infrastructures sont à risque d'être compromises ou de tomber en panne en raison des impacts climatiques, la planification de la continuité des activités devient importante. Ce type de planification assure que les services ne sont pas compromis par des événements extrêmes ou imprévus. Il est primordial de planifier la façon dont les effectifs peuvent être déployés plus efficacement durant et après les situations d'urgence, particulièrement du fait que les changements climatiques devraient générer des événements météorologiques extrêmes plus fréquents. Les praticiens interrogés aux fins du présent chapitre ont indiqué que la coordination intersectorielle peut être améliorée si les décideurs travaillent en étroite collaboration avec les ingénieurs de la ville et les comités consultatifs techniques sur les stratégies d'adaptation aux changements climatiques pour les infrastructures et les activités de transport.

Par exemple, la Division des services de transport (DST) de la Ville de Toronto a collaboré avec d'autres secteurs et organismes municipaux sur des activités d'adaptation et de préparation relatives aux changements climatiques. Le tableau 3 présente ces initiatives en cours. Les interdépendances entre les secteurs recensés par la DST comprennent les pannes de courant causées par la chaleur extrême, le vent et la pluie verglaçante ainsi que les impacts sur le système de régulation du trafic et les infrastructures de communication. Selon les praticiens du domaine du transport, une évaluation des risques liés aux changements climatiques pour le secteur de l'électricité permettrait de déterminer les zones les plus vulnérables de la ville en fonction de divers scénarios climatiques. Ces renseignements orienteraient la mise en œuvre et le déploiement physique de mesures d'adaptation, telles que l'installation de technologies d'alimentation sans coupure sur les systèmes de régulation du trafic.

Les interruptions sur les réseaux routiers et de transport en commun affecteront également la capacité du personnel à se rendre au travail, entraînant des pénuries de personnel et, en fin de compte, des répercussions sur la prestation des services municipaux. La planification de la continuité des activités pour les événements météorologiques extrêmes peut répondre à ces questions en prévoyant des régimes de travail de rechange, des formations périodiques, l'essai des itinéraires et la tenue d'une base de données des coordonnées en cas d'urgence pour le personnel (conservée par un superviseur et accessible à tout moment).

En plus des services municipaux, il est également nécessaire de mobiliser pleinement la société civile urbaine et de fournir des renseignements au public sur l'importance de l'adaptation (Larrivée, 2010). Selon les praticiens, la participation du public en matière d'adaptation a tendance à inciter des conversations sur l'atténuation climatique (réduction des émissions de carbone). La tâche des organismes municipaux est de souligner l'importance des deux politiques en collaboration pour maximiser la valeur sociale des investissements en infrastructure. La participation du public est également nécessaire afin de préparer la société à fonctionner – à accéder au travail, aux soins de santé et à d'autres activités – lorsque les systèmes de transport ou les systèmes d'infrastructure fonctionnent à des niveaux inférieurs.

Tableau 3 : Exemple de collaboration interne et externe pour la planification adaptative pour les changements climatiques et le transport urbain à la Ville de Toronto.

Partenariat	Action coordonnée
Office de protection de la nature de Toronto (OPNT)	<p>Système d'annonce de crue :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'OPNT fournit des avertissements de crue à l'unité de communications des services d'urgence routiers (UCSUR) de la DST pour l'autoroute Don Valley Parkway et le prolongement de Bayview. Cette surveillance en temps réel, assurée à l'aide de caméras et d'un protocole de communication, aide la DST à mettre en œuvre des fermetures de routes et à réguler le trafic. • La DST se réunit régulièrement avec le personnel de l'OPNT pour examiner les protocoles d'interventions en cas d'inondation et les interventions en temps réel à la suite d'événements, et pour établir une intervention plus globale en cas d'inondation. <p>Évaluation environnementale :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'OPNT effectue une évaluation environnementale interne et en collaboration avec la DST afin de recenser les risques et les mesures d'atténuation possibles pour améliorer les mesures de maîtrise actuelles des inondations qui surviendraient le long de la promenade Don Valley et de l'avenue Bayview (le corridor Don Valley)
Consultation avec le Bureau de l'énergie et de l'environnement; la Toronto Transit Commission et les Services d'ingénierie et de construction; et d'autres organismes, conseils, commissions et divisions de la Ville de Toronto	<p>Évaluation des risques liés aux changements climatiques (ERCC) (Voir l'étude de cas 1) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cet outil relève et évalue les risques liés aux changements climatiques, y compris les impacts des changements climatiques sur la prestation de services, la gestion des infrastructures et la protection de l'environnement naturel. • L'ERCC permet aux fournisseurs de services et d'infrastructures de relever et de hiérarchiser les principaux risques et impacts liés aux changements climatiques, et d'évaluer les avantages de diverses mesures d'atténuation des risques ou mesures d'adaptation.
Toronto Transit Commission (TTC)	<p>Exemples d'initiatives en cours :</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Élaboration d'un processus harmonisé pour la mise en œuvre des zones d'arrêt d'autobus en béton; le revêtement d'asphalte aux arrêts d'autobus présente généralement une distorsion sévère (l'orniérage, par exemple) en raison des charges des autobus et des conditions de chaleur extrême; b) Installation d'aires d'autobus en béton sur la chaussée dans le cadre des projets de resurfacement. Ces aires sont généralement uniquement installées lorsque la surface d'asphalte actuelle présente de l'orniérage ou un déplacement modéré (> 25 mm) ou plus; c) 100 emplacements des feux de signalisation ont été recensés et priorisés pour l'installation de dispositifs d'alimentation sans coupure (UPS), y compris des dispositifs de signalisation ferroviaires, aux principales intersections et dans les stations des rampes d'accès à l'autoroute expresse. Un programme pilote a été lancé pour équiper 12 sites prioritaires; d) Un examen de deuxième phase est en cours pour relever les besoins en matière d'UPS aux intersections critiques situées sur les voies d'urgence; et e) A conclu des ententes de services mobiles de ravitaillement en diesel et en essence par camion; des cartes de carburant de tiers sont disponibles lorsque la livraison de carburant est affectée lors d'événements météorologiques extrêmes.

8.0 LACUNES ET OBSTACLES

Les praticiens suggèrent que sans l'acceptation à tous les niveaux, à savoir du niveau de la direction jusqu'au niveau opérationnel, de l'ampleur des risques liés aux changements climatiques, souvent, les efforts de planification pour l'adaptation ne sont pas pleinement mis en œuvre. Dans certains cas, les praticiens ont obtenu du succès en communiquant l'importance d'éviter des coûts plus importants à l'avenir en effectuant des investissements proactifs. L'analyse coûts-avantages peut également appuyer les décisions en matière d'adaptation en aidant les praticiens à établir les priorités dans les investissements pour la mise à niveau de l'infrastructure et pour démontrer la valeur des mesures prises pour réduire la vulnérabilité future (Feltmate et Thistlethwaite, 2012). Le fait que plus de villes parviennent à réaliser et à communiquer des économies de coûts à long terme et la compétitivité économique par le truchement de mesures d'adaptation permet de réduire les obstacles à la mise en œuvre généralisée de ces mesures.

La coordination des mesures entre les divers ordres de gouvernement, d'organismes et de secteurs est un autre défi à la prise de décision adaptative. Par exemple, les administrations municipales confrontées à des risques d'inondation doivent coordonner l'intervention d'urgence avec d'autres ordres de gouvernement en plus de faire face aux défis liés à la prévention des inondations et à la protection physique (Chiwizer et Tarlock, 2013).

9.0 CONCLUSION

Le présent chapitre a démontré que les réseaux de transport urbain sont vulnérables aux changements climatiques et aux conditions météorologiques extrêmes de nombreuses façons, et a recensé les efforts déployés par les villes canadiennes pour gérer ces risques. Bien que les municipalités aient toujours adopté des mesures d'adaptation à la suite de catastrophes, les études de cas abordées dans le présent chapitre indiquent que, de plus en plus, les municipalités et leurs partenaires travaillent à adapter de manière proactive à la fois l'infrastructure et les opérations avant l'apparition des impacts climatiques. Les études de cas dans le présent chapitre offrent des exemples de régions urbaines canadiennes qui ont entrepris des évaluations de la vulnérabilité, qui apportent des améliorations structurelles et physiques, et qui effectuent des changements organisationnels pour améliorer leur résilience à un environnement de transport en évolution rapide. D'autres approches d'adaptation relevées dans la littérature pourraient être appliquées par les professionnels du transport au Canada lorsque cela s'y prête. Il est clair que les solutions demanderont une combinaison appropriée de mesures d'adaptation proactives et réactives.

Le présent chapitre a également mis en évidence l'importance de la redondance (tant dans les routes que dans les modes de transport) pour améliorer la résilience, ainsi que l'importance des stratégies d'adaptation à « faible regret » afin de renforcer le soutien de la part des gouvernements et des communautés à l'égard des efforts d'adaptation. Les coûts initiaux élevés des nombreuses stratégies d'adaptation (en particulier des solutions structurelles) peuvent avoir un effet dissuasif, et la complexité des contextes financiers et opérationnels des villes modernes pose des obstacles à l'adaptation. Par conséquent, il est de plus en plus important pour les praticiens du domaine du transport de travailler en collaboration avec d'autres secteurs municipaux vers des objectifs d'adaptation communs. Grâce à de solides efforts de coopération, les réseaux de transport urbain multimodaux du Canada seront plus à même de relever avec succès les défis posés par les changements climatiques.

RÉFÉRENCES

- AMEC Inc. (2011). *Climate change adaptation measures for Greater Moncton Area, New Brunswick*. Repéré à http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Adaptation_Measures_Greater_Moncton-2011.pdf
- Andrey, J. et Mills, B. (2003). Climate change and the Canadian transportation system : Vulnerabilities and adaptations. Dans J. Andrey and C. Knapper (Éds.), *Weather and transportation in Canada* (pp. 235-279). Publication series number 55, Department of Geography, University of Waterloo.
- Andrey, J. (2010). Long-term trends in weather-related crash risks. *Journal of Transport Geography*, 18, 247-258.
- Andrey, J., Hambly, D., Chaumont, D., et Rapaic, M. (2013). Climate change and road safety : Projections within urban areas. Ottawa, ON : Association des transports du Canada.
- Association canadienne du transport urbain. (2012). *Besoins en infrastructures de transport collectif pour la période de 2012 à 2016*. Repéré à http://cutaactu.ca/en/public-transit/publicaffairs/resources/CUTA_IS_Report2012_E.pdf
- Association des transports du Canada. (2010). *Lignes directrices de développement et de gestion des infrastructures de transport dans les régions de pergélisol*. Ottawa, ON.
- Atkinson, D.E., Forbes, D.L., et James, T.S. (2016). Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (Éds.), *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat* (pp. 27-68). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada.
- Ayres, T. (2014). Bicycle promotion as a response to climate change. *Ergonomics in Design : The Quarterly of Human Factors Applications*, 22(2), 30-32.
- Bertin, O. (1998, 10 janvier). Ice grounds most planes, trains and passengers. *The Globe and Mail*, p. B3. Repéré à <http://search.proquest.com/proxy.lib.uwaterloo.ca/docview/1143162265/fulltextPDF/95025EC4EE14E5EPQ/1?accountid=14906>
- Blais, P. (2013). *Perverse cities: Hidden subsidies, wonky policy, and urban sprawl*. Vancouver, BC : UBC Press.
- Bowyer, P. (2003a). *L'aspect scientifique de l'ouragan Juan – Classification de l'ouragan Juan*. Gouvernement du Canada. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=258CBC16-1>
- Bowyer, P. (2003b). *Résumé de la saison des cyclones tropicaux au Canada de 2003*. Gouvernement du Canada. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=DCA5B0C3-1>
- Bowyer, P. (2003c). *La crue des eaux et les vagues causées par l'ouragan Juan à Halifax*. Gouvernement du Canada. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=BAAEAC12-1>
- Bradford, N. (2008). The OECD's local turn : « Innovative liberalism » for the cities? Dans R. Mahon et S. McBride (Eds.), *The OECD and Transnational Governance*. Vancouver, BC : UBC Press.
- Bruce, J. (2011). Climate change information for adaptation : Climate trends and projected values for Canada from 2010 to 2050. Institut de prévention des sinistres catastrophiques. Repéré à http://www.fcm.ca/Documents/reports/PCP/Climate_change_information_for_adaptation_Climate_trends_and_projected_values_for_Canada_from_2010_to_2050%20EN.pdf
- Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes. (2016). *Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes : Éclairer l'avenir*. Repéré à www.canadainfrastructure.ca/downloads/Bulletin_de_rendement_des_infrastructures_canadiennes_2016.pdf
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2008). Climate change impacts on US transportation infrastructure. *Transportation Research Board Special Report 290*. Washington, DC : National Research Council of the National Academies.
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2014). *Rapport d'enquête ferroviaire R13C0069. Effondrement d'un pont et déraillement. Chemin de fer Canadien pacifique. Train de marchandises 292-26, Point milliaire 172,5, Subdivision Brooks. Calgary (Alberta). 27 juin 2013*. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/2013/r13c0069/r13c0069.asp>
- Bush, E.J., Loder, J.W., James, T.S., Mortsch, L.D. et Cohen, S.J. (2014). Un aperçu des changements climatiques au Canada. Dans F.J. Warren et D.S. Lemmen. (Éds.), *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation* (pp. 23-64). Ottawa, ON : Gouvernement du Canada.
- Canadian Press. (2014, 17 décembre). 'Unprecedented' flood at roof of Calgary bridge failure: TSB. CTV News. Repéré à <http://www.ctvnews.ca/canada/unprecedented-flood-at-root-of-calgary-bridge-failure-tsb-1.2151386>
- Canadian Press. (2015a, 19 avril). Evacuation order still in effect for N.B. village at risk of flooding. CTV News. Repéré à <http://www.ctvnews.ca/canada/evacuation-order-still-in-effect-for-n-b-village-at-risk-of-flooding-1.2334549>
- Canadian Press. (2015b, 23 novembre). GO trains delayed by frozen track switch. *Toronto Star*. Repéré à <http://www.thestar.com/news/gta/2015/11/23/go-trains-delayed-by-frozen-track-switch.html>
- CBC News. (2013, 10 juillet). *Toronto severe thunderstorm watch cancelled*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/toronto/toronto-severe-thunderstorm-watch-cancelled-1.1379640>

- Cheng, C., Li, G., Li, Q., Auld, H., et Fu, C. (2008). Possible impacts of climate change on wind gusts under future climate conditions over Ontario, Canada. *Journal of Climate*, 25(9), 3390-3408.
- Cheng, C., Li, G., et Auld, H. (2011). Possible impacts of climate change on freezing rain using downscaled future climate scenarios : Updated for Eastern Canada. *Atmosphere-Ocean*, 49(1), 8-21.
- Cheng, C., Lopes, E., Fu, C., et Huang, F. (2014). Possible impacts of climate change on wind gusts under downscaled future climate conditions : Updated for Canada. *Journal of Climate*, 27(3), 1255-1270.
- Cheng, G. (2005). Permafrost studies in the Qinghai-Tibetan Plateau for road construction. *Journal of Cold Regions Engineering*, 19(1), 19-29.
- Chiwizer, D., et Tarlock, A. (2013). New challenges for urban areas facing flood risks. *Fordham Urban Law Journal*, 40, 1739-1792.
- Clean Air Partnership. (2012). Accelerating adaptation in Canadian communities : York Region de-icing strategy (Étude de cas 2 de 9). Repéré à www.cleanairpartnership.org/files/2%20Case%20Study.pdf
- Cohen, S., Soohoo, W., et Sumitami, M. (2005). *Climate change will impact the Seattle Department of Transportation*. City of Seattle, Office of the City Auditor. Repéré à http://www.seattle.gov/light/News/Issues/Green/Climate_Change_Presentation_10_31_05.pdf
- CPA (2015) Étude de cas sur l'adaptation no 2 : TransLink. Repéré à <https://www.cpacanada.ca/fr/ressources-en-comptabilite-et-en-affaires/domaines-connexes/durabilite/publications/translink-changement-climatique-etude-de-cas-2>
- Craggs, S. (2014, 17 mars). Will closing the Skyway lead to traffic chaos this summer? *CBC News Hamilton*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/hamilton/news/will-closing-skyway-lead-to-traffic-chaos-this-summer-1.2576429>
- Credit Valley Conservation Authority. (2014). *Low-impact development : Road right-of-ways*. Repéré à <http://www.creditvalleyca.ca/low-impact-development/road-right-of-ways/>
- CTV Atlantic. (2015, 19 avril). *Flood risk forces evacuation in Perth-Andover, NB*. Repéré à <http://atlantic.ctvnews.ca/flood-risk-forces-evacuation-in-perth-andover-n-b-1.2334463>
- CTV News. (2013, 27 février). *OC Transpo buses stuck in snow, delays of more than an hour*. Repéré à <http://ottawa.ctvnews.ca/oc-transpo-buses-stuck-in-snow-delays-of-more-than-an-hour-1.1174771>
- Dachis, B. (2013). *Cars, congestion, and costs: A new approach to evaluating government infrastructure investment*. Institut C.D. Howe, Commentaire No. 385. Repéré à http://www.cdhowe.org/pdf/Commentary_385.pdf
- Dachis, B. (2015). *Tackling traffic : The economic cost of congestion in Metro Vancouver*. Institut C.D. Howe (E-brief). Repéré à https://www.cdhowe.org/pdf/e-brief_206.pdf
- Davison, J., et Powers, L. (2013, 22 juin). Why Alberta's flood hit so hard and fast. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/calgary/why-alberta-s-floods-hit-so-hard-and-fast-1.1328991>
- Durantou, G., et Turner, M.A. (2011). The fundamental law of road congestion : Evidence from US cities. *American Economic Review*, American Economic Association, vol. 101(6), pages 2616-52, October. Repéré à <http://www.nber.org/papers/w15376>
- Environnement Canada. (2010). *Les inondations au Canada : Colombie-Britannique*. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=B7B62836-1>
- Environnement Canada. (2013a). *Les phénomènes météorologiques les plus importants du 20e siècle*. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=6a4a3ac5-1>
- Environnement Canada. (2013b). *Les dix principaux événements météorologiques canadiens de 1998*. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=3DED7A35-1>
- Environnement Canada. (2014). *Les dix événements marquants au Canada en 2013*. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=5BA5EAF-1&offset=2&toc=show>
- Environnement Canada. (2015). *L'ouragan Hazel – Mesures d'atténuation*. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=CA3BC939-1>
- Feltmate, B., et Thistlethwaite, J. (2012). *Climate change adaptation: A priorities plan for Canada. Report of the climate change adaptation project (Canada)*. Repéré à <https://uwaterloo.ca/environment/sites/ca.environment/files/uploads/files/CCAP-Report-30May-Final.pdf>
- Filion, P., et Bunting, T. (2010). Epochs of Canadian urban development. Dans T. Bunting, P. Filion, et R. Walker, R. (Éds.), *Canadian cities in transition : New directions in the twenty-first century* (chapter 2). Don Mills, ON: Oxford University Press.
- Forces maritimes de l'Atlantique. (2003). *Dommages causés par l'ouragan à un quai du port de Halifax*. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=B084FF40-1>
- Fu, L., Trudel, M., et Valeri, K. (2009). Optimizing winter road maintenance operations under real-time information. *European Journal of Operational Research*, 196(1), 332-341.
- Gouvernement de la Nouvelle-Écosse. (2003). *A report on the emergency response to Hurricane Juan*. Repéré à http://novascotia.ca/dma/emo/resources/docs/report_on_the_emergency_response_to_hurricane_juan.pdf

- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contributions of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Dans C. Field, V. Barros, D. Dokken, K. Mach, M. Mastrandea, T. Bilir, M. Chatterjee, K. Ebi, Y. Estrada, R. Genova, B. Girma, E. Kissel, A. Levy, S. MacCracken, P. Mastrandea, and L. White (Éds.), Cambridge, UK et New York, NY: Cambridge University Press, USA. 1132 p.
- Groupe de travail sur les transports et l'environnement. (2014). *Les transports et l'environnement : Rapport du Groupe de travail*. Ottawa, ON : Conseil des ministres responsables des transports et de la sécurité routière. Repéré à <http://www.comt.ca/reports/transportandenviron-1014-f.pdf>
- Haider, M., Tomalty, R., et Komorowski, B. (2013). *The 2012 smart growth report : Progress towards smart growth in Canada*. Repéré à http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2242648
- Harford, D., Lapointe, B., Berry, J., et Danielson, L. (2015). Adaptation financing for local governments in Canada. Présentation de webinaire au *Communauté de pratique de l'adaptation au changement climatique*, 8 avril.
- Hennessey, R., et Streicker, J. (2011). *Whitehorse climate change adaptation plan*. Whitehorse, YT : Northern Climate Exchange, Yukon Research Centre, Yukon College. Repéré à http://www.fcm.ca/Documents/reports/PCP/whitehorse_climate_change_adaptation_plan_EN.pdf
- Henstra, D. (2011). The dynamics of policy change : A longitudinal analysis of emergency management in Ontario, 1950–2010. *Journal of Policy History*, 23(03), 399–428.
- ICLEI Canada. (2010). *Changing climate, changing communities: Guide and workbook for municipal climate adaptation*. Repéré à http://www.icleicanada.org/images/icleicanada/pdfs/GuideWorkbookInfoAnnexes_WebsiteCombo.pdf
- Ingénieurs Canada. (2012). *Roads and associated structures expert working group review: Climate considerations in Canadian codes, standards and related instruments affecting roads infrastructure systems*.
- Ingénieurs Canada. (2014). *PIEVC : Adapting infrastructure to climate change – Canadian case studies*.
- Institut de prévention des sinistres catastrophiques. (19 décembre 2016). *15 years later: Ice Storm Revisited*. Repéré à <http://www.iclr.org/resourcecentre/icestorm98mainpage.html>
- Koatse, M., et Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport : An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 14, 205-221.
- Koatse, M., et Rietveld, P. (2012). Adaptation to climate change in the transport sector. *Transport Reviews*, 32(3), 267-286.
- KPMG. (2012). *Lesser Slave Lake regional urban interface wildlife – Lessons learned*. Rapport final. Repéré à https://www.ibaa.ca/?page=AB_GovDisastResponse
- Martin, A. (2012, 27 juin). Wrack and ruin. *The Regina Leader Post*. Repéré à <http://www.leaderpost.com/health/Wrack+Ruin/6848568/story.html>
- McLean, D., Mannerström, M., et Lyle, T. (2007). Revised design flood for Lower Fraser River. *Canadian Hydrotechnical Conference*. Repéré à <http://www.ebbwater.ca/wp/wp-content/uploads/2013/06/McLeanMannerstromLyle2007.pdf>
- McLeod, D. (2011). *Adaptation à un climat changeant – État de préparation de l'infrastructure municipale*. Bureau de l'environnement de la Ville de Toronto. Présentation à la Fédération canadienne des municipalités le 3 mars 2011. Repéré à https://www.fcm.ca/Documents/presentations/2011/webinars/Adaptation_to_a_Changing_Climate_FR.pdf
- McLeod, D. et Stevanovic-Briatico, V. (2014, 23 octobre). *Module 6: Infrastructure Networks : The changing climate's impact on the transportation and energy sectors*. L'Alliance des villes des Grands Lacs et du Saint-Laurent [webinaire]. Repéré à http://cdn.glsicities.org/wp-content/uploads/2015/11/UpdatedModule_6_v3_Infrastructure-Networks_FINAL.pdf
- Metro Vancouver. (2011). *Regional growth strategy – Metro Vancouver 2040 : Shaping our future*. Repéré à <http://www.metrovancouver.org/services/regional-planning/metro-vancouver-2040/Pages/default.aspx>
- Mills, B. et Andrey, J. (2002). Climate change and transportation : Potential interactions and impacts. Dans *The potential impacts of climate change on transportation federal research partnership workshop (October 1-2) : Summary and discussion papers* (pp. 77-88). Repéré à <http://climate.dot.gov/documents/workshop1002/workshop.pdf>
- Mills, B., Tighe, S., Andrey, J., Smith, J., et Huen, K. (2009). Climate change implications for flexible pavement design and performance in southern Canada. *Journal of Transportation Engineering*, 135(10), 773-782.
- Mills, T. (2016, 27 janvier). *Preparing for sea level rise in Vancouver*. Natural Resources Canada Tools of Change [webinaire]. Repéré à <https://cullbridge.adobeconnect.com/a782512023/p6a5t6z265/>
- Mims, C. (2010, 14 juin). How Twitter helps in a disaster. *MIT Technology Review*. Repéré à <http://www.technologyreview.com/view/419368/how-twitter-helps-in-a-disaster/>
- Ministère des affaires municipales de l'Ontario. (2013). *Plan de croissance de la région élargie du Golden Horseshoe, 2006 : Consolidation administrative, Juin 2013*. Repéré à https://www.placestogrow.ca/index.php?option=com_content&task=view&id=359&Itemid=12&lang=fr
- Ministère des Transports de l'Ontario. (2013). *Pavement design and rehabilitation manual (deuxième édition)*. Repéré à www.library.mto.gov.on.ca/getattachment.asp

- Morency, P., Voyer, C., Burrows, S., et Goudreau, S. (2012). Outdoor falls in an urban context : Winter weather impacts and geographical variations. *Public Health*, 103(3): 218-222.
- National Cooperative Highway Research Program. (2006). *Evaluation of best-management practices for highway runoff control*. Transportation Research Board, Report No. 565. Repéré à http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_565.pdf
- Newman, J., Perl, A., Wellstead, A., et McNutt, K. (2013). Policy capacity for climate change in Canada's transportation sector. *Review of Policy Research*, 30(1), 19-41.
- North American City Transportation Officials (NACTO). (2012). *Urban street design guide*. Repéré à <http://nacto.org/usdg/>
- Office of the Federal Coordinator for Meteorology (OFCM). (2002). *Weather information for surface transportation : National needs assessment*. Repéré à http://www.ofcm.gov/wist_report/wist-report.htm
- Ouranos. (2010). Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques. Guide destiné au milieu municipal québécois. Montréal, Québec, 48 p. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/climat-municipalites/Plan-adaptation.pdf>
- Perl, A., et Kenworthy, J. (2010). The Canadian city at a crossroads between "passage" and "place." Dans T. Bunting, P. Filion, et R. Walker. (Éds.), *Canadian cities in transition : New directions in the twenty-first century* (chapitre 11). Don Mills, ON : Oxford University Press.
- Picketts, I. (2012). Implementing climate change adaptation in Prince George, BC. *Volume 5: Transportation infrastructure*. Repéré à http://princegeorge.ca/environment/climatechange/adaptation/Documents/2012_PGRAC_Transport_volume%20with%20Exec%20Sum.pdf
- Picketts, I., Curry, J., Déry, S., et Cohen, S. (2013). Learning with practitioners : Climate change adaptation priorities in a Canadian community. *Climatic Change*, 118, 321-327.
- Picketts, I. (2014). Practitioners, priorities, plans, and policies : Assessing climate change adaptation actions in a Canadian community. *Sustainability Science*, 10 (3), 503-513.
- Postmedia News. (2012, 8 février). *Canada census 2011 : The cities leading Canada's population boom*. Repéré à <http://news.nationalpost.com/2012/02/08/canada-census-2011-see-which-cities-and-towns-have-grown-the-most/>
- Prowse, T., Furgal, C., Chouinard, R., Melling, H., Milburn, D., et Smith, S. (2009). Implications of climate change for economic development in Northern Canada : Energy, resource, and transportation sectors. *Environment Abstracts*, 38(5), 272-281.
- Reimchen, D., Doré, G., Fortier, D., Stanley, B., et Walsh, R. (2009). Cost and constructability of permafrost test sections along the Alaska Highway, Yukon. *Transportation Association of Canada Annual Conference 2009, Soil Stabilization for Changing Environments Session*, Vancouver, BC.
- Revi, A., Satterthwaite, D., Aragon-Durand, F., Corfee-Morlot, J., Kiunsi, R., Pelling, M., Roberts, D., et Solecki, W. (2014). Urban areas. Dans *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Robinson, D., et Cruikshank, K. (2006). Hurricane Hazel : Disaster relief, politics, and society in Canada, 1954-55. *Journal of Canadian Studies* 40, (1) : 37-70.
- Royal Academy of Engineering. (2011). *Infrastructure, engineering, and climate change adaptation : Ensuring services in an uncertain future*. Repéré à <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/engineering-the-future>
- Sabir, M., van Ommerman, J., Koetse, M., et Rietveld, P. (2010). *Impact of weather on daily travel demand*. Tinbergen Institute Discussion Paper. VU University, Amsterdam. Repéré à [http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Sabir%20et%20al%20\(2010a\).Pdf](http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Sabir%20et%20al%20(2010a).Pdf)
- Saskatchewan Archives Board. (2011). *The Regina cyclone of 1912*. Repéré à <http://www.saskarchives.com/collections/exhibits/regina-cyclone-1912>
- Savonis, M., Burkett, V., et Potter, J. (2008). Impacts of climate variability and change on transportation systems and infrastructure : Gulf Coast Study. *United States Climate Change Science Program, Synthesis and Assessment Product 4.7*. Washington, DC : United States Department of Transportation.
- Schwartz, H. (2011). Adapting to climate change : Another challenge for the transportation community. Dans Special Task Force on Climate Change and Energy (Éd.), *Transportation Research Circular E-C152: Adapting Transportation to the Impacts of Climate Change*. Washington, DC : Transportation Research Board of the National Academies.
- Solecki, W., Leichenko, R., et O'Brien, K. (2011). Climate change adaptation strategies and disaster risk reduction in cities : Connections, contentions, and synergies. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3, 135-141.
- Statistique Canada. (2011a). *Chiffres de population et des logements - Faits saillants en tableaux, Recensement de 2011*. Repéré à <http://www12.statcan.ca/census-recensement/2011/dp-pd/hlt-fst/pd-pl/Table-Tableau.cfm?Lang=fra&T=205&S=3&RPP=50>
- Statistique Canada. (2011b). *Population urbaine et rurale, par province et territoire (Canada)*. Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l02/cst01/demo62a-fra.htm>
- Statistique Canada. (2014). *Projections démographiques pour le Canada (2013 à 2063), les provinces et les territoires (2013 à 2038)*. Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/pub/91-520-x/91-520-x2014001-fra.htm>
- Swedlove, F. (2014, 5 décembre). Government alone can't fix Canada's infrastructure deficit. *The Globe and Mail*. Repéré à <http://www.theglobeandmail.com/globe-debate/government-alone-cant-fix-canadas-infrastructure-deficit/article21966661/>

- Texas Department of Transportation. (2006). *Maintenance solutions for bleeding and flushed pavements*. Repéré à http://www.depts.ttu.edu/techmrtweb/Reports/Products/5230_P1.pdf
- The Canadian Press. (5 janvier 2008). *Lessons to be learned from ice storm: report author*. CTV News. Repéré à <http://www.ctvnews.ca/lessons-to-be-learned-from-ice-storm-report-author-1.269871>
- Toronto and Region Conservation Authority. (2016). *The history of flood control in the TRCA*. Repéré à <http://www.trca.on.ca/protect/water-management/flood-protection.dot>
- Transports Canada. (2011). *Guide de planification et de ressources sur les transports actifs au Canada. Division des initiatives environnementales*.
- Transports Canada. (2013). *Les transports au Canada 2011 – Annexe A – Addenda statistique (Tableau EC73 : Demande de transport en pourcentage du PIB, 2011)*. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/politique/anre-menu-3045.htm>
- United States Arctic Research Commission Task Force. (2003). *Climate change, permafrost, and impacts on civil infrastructure*. Special Report 01-03. Arlington, VA: US Arctic Research Commission.
- United States Environmental Protection Agency (2008). *Reducing urban heat islands : Compendium of strategies*. Repéré à <http://www.epa.gov/heatisd/resources/compendium.htm>
- United States Federal Highway Administration. (2015). *TechBrief : Climate change adaptation for pavements*. FHWA-HIF-15-015. Repéré à <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/sustainability/hif15015.pdf>
- Ville de Moncton. (2013). *Stratégie d'adaptation aux changements climatiques et de gestion des inondations*. Repéré à www.moncton.ca/Assets/Residents+French/Environment+French/Strat%20a9gie+d%27adaptation+aux+changement+climatiques.pdf
- Ville de Montreal. (2015). *Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal*. Repéré à http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,112913600&dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Toronto. (2008). *Ahead of the storm: Preparing Toronto for climate change*. Repéré à http://www1.toronto.ca/City%20Of%20Toronto/Environment%20and%20Energy/Our%20Goals/Files/pdf/A/head_of_the_storm.pdf
- Ville de Toronto. (2011). *Toronto's adaptation actions*. Repéré à https://www1.toronto.ca/City%20Of%20Toronto/Environment%20and%20Energy/Our%20Goals/Files/pdf/toronto_cc_adapt_actions.pdf
- Ville de Toronto. (2014). *Coordinated watercourse management plan. Staff report*. Repéré à <http://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2014/pw/bgrd/backgroundfile-68981.pdf>
- Walsh, R., Orban, S., Walker, R., Coates, J., Croteau, J., Stone, D., et Strynadka, T. (2009). *Front street paving project, Dawson City, Yukon : Adapting to climate change in a National Historic District*. TAC 2009 Environmental Achievement Award Submission (Yukon Highways and Public Works). Repéré à <http://www.colascanada.ca/uploads/colascanada/File/expertise/EnvironmentalAchievementYukonPaper.pdf>
- Wang, X., Thompson, D., Marshall, G., Tymstra, C., Carr, R., et Flannigan, M. (2015). *Increasing frequency of extreme fire weather in Canada with climate change*. *Climatic Change*, 130(4), 573-586.
- White, C., Plotnick, L., Kushma, J., Hiltz, S., et Turoff, M. (2009). *An online social network for emergency management*. *International Journal of Emergency Management*, 6(3/4), 369- 382.
- Wooler, S. (2004). *The changing climate : Impact on the Department for Transport*. Repéré à <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.dft.gov.uk/pgr/scienceresearch/key/thechangingclimateitsimpactto1909>
- Woudsma, C., Kanaroglou, P., Maoh, H., et Marshall, S. (2007). *Climate change and Canadian road transport : Assessing impacts and adaptations*. Ottawa, ON : Ressources naturelles Canada, Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques.
- Younger, M., Morrow-Almeida, H., et Vindingi, S. (2008). *The built environment, climate change, and health opportunities for co-benefits*. *American Journal of Preventative Medicine*, 35(5), 517-526.