



# Adaptation des infrastructures des routes d'accès aux changements climatiques

Rapport technique n° 61 – décembre 2017

Mark Partington, RPF, M.Sc., Chercheur sénior  
Allan Bradley, RPF, P.Eng., Gestionnaire de recherche associé  
Mathieu Durand-Jézéquel, Ing. jr., M.Sc., Chercheur  
Alex Forrester, RPF, P.Eng., Chercheur

**DISTRIBUTION SANS  
RESTRICTION**

FPInnovations est un chef de file mondial sans but lucratif qui se spécialise dans la création de solutions scientifiques pour soutenir la compétitivité du secteur forestier canadien à l'échelle internationale et qui répond aux besoins prioritaires de ses membres industriels et de ses partenaires gouvernementaux. Il bénéficie d'un positionnement idéal pour faire de la recherche, innover et livrer des solutions d'avant-garde qui touchent à tous les éléments de la chaîne de valeur forestière, des opérations forestières aux produits de consommation et industriels. Les laboratoires de recherche sont situés à Québec, à Montréal et à Vancouver ainsi que des bureaux de transfert de technologie à travers le pays. Pour plus d'information sur FPInnovations, visitez le [www.fpinnovations.ca](http://www.fpinnovations.ca).

Suivez-nous sur :   

301011965 : Adaptation routes climat  
Rapport technique n° 61

## SOMMAIRE

Au Canada, on prévoit que les changements climatiques auront une incidence considérable sur l'industrie forestière. Les routes d'accès sont particulièrement vulnérables aux effets immédiats et à court terme des changements climatiques. Des stratégies d'adaptation pour les routes d'accès et les infrastructures doivent être élaborées et leur mise en œuvre doit commencer, afin de s'assurer que les infrastructures routières nécessaires pour accéder à la forêt soient maintenues et résistent aux effets des changements climatiques. Ce rapport présente les risques et la vulnérabilité des routes d'accès aux changements climatiques, ainsi que des méthodes et pratiques recommandées pour s'y adapter.

## REMERCIEMENTS

Ce projet a reçu l'appui financier de Ressources naturelles Canada conformément à l'entente de contribution de RNC/SCF – FPInnovations, et de la division d'ingénierie du British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, conformément à l'entente de contribution Colombie-Britannique – FPInnovations.

## PERSONNE-RESSOURCE

Mark Partington, chercheur sénior  
Routes et infrastructures  
514-782-4525  
[mark.partington@fpinnovations.ca](mailto:mark.partington@fpinnovations.ca)

## Table des matières

1. Introduction.....	4
2. Adaptation aux changements climatiques : besoins et défis .....	4
3. Identification des risques et vulnérabilités des routes d'accès liés aux changements climatiques ...	7
4. Adaptation des routes d'accès aux changements climatiques.....	10
5. Méthodes et pratiques d'adaptation des routes d'accès.....	11
6. Résumé .....	17
7. Prochaines étapes.....	19
8. Littérature citée.....	20
9. Références et lectures suggérées .....	21
10. Annexe A : Consultation du gouvernement de la Colombie-Britannique.....	28

## Liste des figures

Figure 1. Processus de gestion du risque. Adapté de ISO31000:2009 .....	7
Figure 2. Étapes du protocole du CVIIP. Reproduit depuis Ingénieurs Canada 2016.....	8
Figure 3. Approche généralisée en matière d'adaptation. Reproduit de Jackson, Barry et Morzak .....	10

## 1. INTRODUCTION

La gestion des routes d'accès et des infrastructures est une activité importante pour les industries et les gouvernements dans l'ensemble du Canada. La planification, la construction et l'entretien des routes d'accès sont nécessaires pour assurer la gestion des ressources et les diverses activités industrielles. Ces routes constituent souvent l'accès principal pour les communautés éloignées et les activités récréatives.

Compte tenu de l'importance économique et sociale des routes d'accès, des efforts pour comprendre les impacts des changements climatiques, afin d'adapter les routes et les infrastructures, sont nécessaires.

Jusqu'à récemment, les discussions sur les changements climatiques portaient sur la compréhension des défis et les efforts de réduction des gaz à effet de serre. L'adaptation des routes d'accès aux changements climatiques est un concept relativement nouveau et il existe actuellement très peu d'information sur l'évaluation du rendement et sur les meilleures pratiques pour réduire les impacts négatifs.

Ce rapport vise à introduire les concepts d'adaptation aux changements climatiques pour les routes d'accès :

- Présentation des besoins et des défis liés à l'adaptation aux changements climatiques,
- Présentation des approches d'évaluation des risques et de la vulnérabilité,
- Solutions et pratiques exemplaires de gestion pour l'adaptation des routes d'accès.

## 2. ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : BESOINS ET DÉFIS

On prévoit que les changements climatiques auront une incidence importante sur la gestion de la forêt au Canada, principalement en raison des changements prévus en matière de température et de précipitations. Le degré de changement projeté varie considérablement, mais les effets suivants sont généralement anticipés :

- Températures plus élevées en été et en hiver;
- Augmentation des épisodes de pluie de forte intensité et de courte durée; et
- augmentation ou diminution des chutes de neige, selon la région.

On prévoit que ces changements climatiques entraîneront des perturbations accrues en forêt, comme le changement de la fréquence, de l'intensité et du lieu des épidémies d'insectes et des feux de forêt. Des changements sont également prévisibles sur la composition floristique et sur les habitats fauniques. En raison des changements climatiques des dernières décennies, certains changements (comme les épidémies d'insectes) sont déjà manifestes, tandis que d'autres (comme la migration des essences) devraient s'accroître à long terme.

On s'attend aussi à ce que les changements climatiques aient une incidence sur les opérations forestières, comme :

- La diminution de la période de récolte hivernale;
- La diminution de la capacité de construction de chemins d'hiver;
- L'augmentation de la pression sur les ponts et ponceaux en raison des épisodes plus fréquents de crue subite; et
- Le bouleversement des horaires de transport, en raison de manque de gel et/ou de dégels plus fréquents en hiver.

Les routes d'accès constituent l'accès principal pour la gestion des forêts et des ressources et sont, dans la plupart des cas, considérées comme des biens à long terme permanents ou semi-permanents. Elles sont souvent gérées selon une approche à bas coût qui peut les rendre particulièrement vulnérables aux changements climatiques. Les modèles de précipitations et de températures changeants risquent d'entraîner des effets qui auront une incidence sur le rendement des infrastructures. L'augmentation de la fréquence des inondations, des glissements de terrain et de l'érosion peut avoir une incidence négative sur le fonctionnement ou la durée de vie des routes et infrastructures. L'augmentation de la fréquence des dégels hivernaux et des événements de neige suivie de pluie auront également une incidence sur la planification des opérations et les normes de construction des routes.

Un des principaux défis dans l'adaptation des routes d'accès aux changements climatiques est lié aux conditions de précipitations et à leurs effets sur le ruissellement et l'écoulement. Contrairement aux modèles de température, les modèles à long terme de précipitations, de ruissellement et d'écoulement sont beaucoup plus difficiles à prévoir avec précision. Les gestionnaires de routes d'accès doivent identifier les changements actuels et prévisibles en matière de température et de précipitations ainsi que leurs répercussions sur les infrastructures et la gestion des routes d'accès, afin de déterminer les méthodes à utiliser pour créer des routes qui résistent aux changements climatiques.

## **Comprendre l'adaptation**

L'adaptation aux changements climatiques signifie toute action qui atténue l'effet négatif et diminue la vulnérabilité de la valeur sous gestion (dans le cas présent : les routes d'accès et les infrastructures). L'adaptation des routes d'accès et des infrastructures aux changements climatiques comprend toute activité liée à l'administration, aux politiques, aux normes, à la planification, à la conception, à l'entretien ou à la construction de celles-ci dont l'objectif est de diminuer l'impact négatif des changements prévus.

Il est important de faire une distinction entre l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation des changements climatiques. Cette dernière consiste à poser des gestes pour limiter la magnitude ou la cadence des changements à long terme. Il est le terme le plus souvent utilisé lorsqu'il est question de changements climatiques, et renvoie à une intervention humaine pour diminuer les sources ou les puits de gaz à effet de serre qui contribuent directement aux changements climatiques (IPCC, 2014).

Dans les opérations forestières, les mesures d'atténuation peuvent porter sur la réduction des émissions des véhicules lourds, grâce à une diminution de la consommation de carburants fossiles ou à l'utilisation de carburants alternatifs. Au cours des dernières années, la recherche s'est intensifiée sur les mesures d'atténuation mais aussi sur les mesures d'adaptation à ces changements.

L'adaptation offre des moyens d'atténuer les effets et de diminuer la vulnérabilité, grâce à la mise en place de pratiques et/ou d'outils. L'adaptation, dans le cas des routes et infrastructures, peut être classifiée comme opérationnelle lorsqu'il s'agit de changements de politiques ou de procédures; ou comme structurelle lorsqu'il s'agit de changements directs aux infrastructures.

L'adaptation des routes d'accès et des infrastructures aux changements climatiques suppose la compréhension des risques et vulnérabilités, l'identification des éléments des infrastructures où les risques sont les plus grands et la création d'une stratégie visant à faire en sorte que les composants des routes et infrastructures soient résistants.

La mise en œuvre de pratiques d'adaptation ne signifie pas nécessairement que des changements importants doivent être apportés en matière de gestion des routes d'accès. Il existe de nombreuses pratiques actuelles qui permettent de s'assurer que les routes d'accès fonctionnent selon les niveaux de service requis et qui peuvent être également vues comme des pratiques d'adaptation aux changements climatiques. Par exemple, le contrôle efficace de l'érosion et les pratiques de stabilisation des pentes sont des pratiques exemplaires de gestion déjà en place. Si les changements climatiques sont annonciateurs d'une augmentation des épisodes de crue subite, des changements mineurs aux pratiques actuelles de stabilisation des pentes peuvent être envisagés, afin de tenir compte des changements en matière de pointes d'écoulement et d'érosion du sol. Par ailleurs, conformément à certaines prévisions climatiques, certaines pratiques d'adaptation exigeront des changements plus importants. En outre, des hivers plus doux et une augmentation du nombre d'épisodes de neige suivis de pluie pourraient limiter l'utilisation des chemins d'hiver et exiger des adaptations plus importantes en matière de construction et d'entretien des routes pour en assurer l'utilisation continue.

## **Comprendre la résilience**

Grâce à la mise en œuvre de pratiques d'adaptation aux changements climatiques, il est possible de rendre des infrastructures et un réseau de routes d'accès plus résilients. La résilience des infrastructures des routes « *est la capacité de résister aux perturbations, d'absorber les dérangements et d'agir efficacement en situation de crise, de s'adapter aux conditions changeantes et de se transformer avec le temps* » [traduction libre]. (Hughes et Healy, 2014).

Actuellement, les modèles climatiques qui font des prévisions à long terme utilisent une approche qui analyse les effets pour de grandes régions. De nombreux ingénieurs, concepteurs et responsables de la planification de routes d'accès désirent obtenir des prévisions climatiques pour des zones précises. Cependant, compte tenu des limites de la modélisation et des données utilisées pour la préparation des prévisions, certaines incertitudes subsistent quant au développement d'événements et de conditions météorologiques à l'échelle locale. Par conséquent, il peut être difficile de concevoir et de construire une route qui est totalement résistante aux risques liés aux changements climatiques.

Un élément important est que l'objectif ne consiste pas à créer des infrastructures qui résistent à tous les risques. Il s'agit plutôt de construire des infrastructures ayant la capacité de réagir et de s'adapter aux événements découlant des changements climatiques en diminuant la gravité des dommages.



## Le protocole CVIIP

Un éventail de processus de gestion peut être utilisé pour évaluer la vulnérabilité des structures d'ingénierie aux changements climatiques. Une méthode utilisée fréquemment au Canada est le protocole du Comité sur la Vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP). (Ingénieurs Canada, 2016). Ce protocole est un outil de génie civil utilisé pour évaluer la vulnérabilité des structures d'ingénierie aux changements climatiques. Une variété de données sont requises pour effectuer une analyse de vulnérabilité, notamment l'âge et l'état de l'infrastructure, les données d'inspection, le volume de trafic, l'information géotechnique et sur le terrain, la date des événements météorologiques extrêmes et leurs effets sur l'infrastructure.

Le CVIIP a créé un protocole en cinq étapes pour évaluer les divers composants des infrastructures. Bien qu'il soit axé sur les infrastructures publiques et civiles, il peut être adapté aux routes d'accès et aux infrastructures en forêt (Figure 2). Le protocole du CVIIP étudie les données climatiques historiques et projette la nature, la sévérité et la probabilité des événements futurs pour une région spécifique. Cette information est ensuite utilisée pour effectuer une évaluation des risques pour l'infrastructure existante ou planifiée, afin de déterminer le type d'intervention nécessaire le cas échéant. Cela donne aussi aux gestionnaires et aux responsables de la planification l'occasion de comprendre ou d'établir la capacité d'adaptation de l'infrastructure conformément à la conception, aux opérations, à l'entretien et aux politiques.

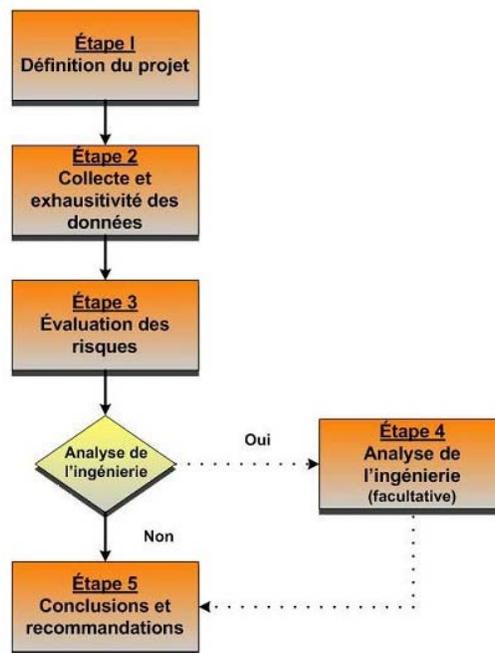


Figure 2. Étapes du protocole du CVIIP. Reproduit depuis Ingénieurs Canada 2016

Étape 1 - La définition de la portée de l'évaluation du risque et de la vulnérabilité est une première étape capitale pour s'assurer que l'analyse est efficace et que les conclusions et recommandations sont pertinentes relativement aux objectifs du projet. La définition du projet comprend l'identification d'éléments comme les tronçons de route à étudier ainsi que les intervenants et utilisateurs de la route à consulter ou dont il faut tenir compte.

Étape 2 - Pendant l'étape de la collecte et exhaustivité des données il est important de prendre en considération: 1) le type de composants des routes et les infrastructures dont on tirera des données (ponts, surface de la route, pentes coupées), et 2) les événements météorologiques qui se produisent dans le secteur et qui influencent directement les composants de la route et des infrastructures de manière fortement négative.

Étape 3 - À l'étape de l'évaluation du risque, des indicateurs météorologiques sont choisis afin de caractériser les changements climatiques préoccupants. Ces indicateurs, contenant des hypothèses pour divers scénarios de changements climatiques, sont entrés dans les modèles de prévisions climatiques afin de prévoir la fréquence et l'intensité des événements météorologiques, et les conditions climatiques à l'échelle locale.

Une évaluation des risques de haut niveau est effectuée pour chaque élément de l'infrastructure, afin d'identifier dans quelle mesure chaque indicateur météorologique risque d'influencer le rendement de chaque type de route et d'infrastructure. L'évaluation du risque peut être présentée sous forme de tableau où le degré de risque pour chaque route/infrastructure est calculé selon l'indicateur météorologique. Ce calcul est effectué à l'aide du degré de probabilité et de gravité de l'indicateur météorologique. Le degré de gravité considère la manière dont chaque événement météorologique ou condition climatique extrême influenceront la fonctionnalité et la durée de vie des composants de la route/infrastructure (en tenant compte de l'efficacité des mesures d'atténuation actuelles).

Étape 4 - L'étape de l'analyse de l'ingénierie possède plusieurs volets, notamment le raffinement des prévisions climatiques et l'évaluation de la vulnérabilité de la capacité de charge. Les personnes responsables de la conception des infrastructures évaluent les hypothèses de conception, les propriétés des matériaux, etc., afin de mesurer les impacts des changements climatiques sur la performance de la route et des infrastructures. Des recommandations sont faites si des modifications doivent être apportées à la conception pour des raisons de sécurité ou de fiabilité.

Étape 5 - L'étape finale est la formulation de conclusions et de recommandations quant aux actions requises pour mettre l'infrastructure à jour. La vulnérabilité et la résilience de l'infrastructure aux changements climatiques sont décrites, ainsi que tout besoin d'analyse ou de collecte de données supplémentaire.

## 4. ADAPTATION DES ROUTES D'ACCÈS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Après l'étude de vulnérabilité et l'analyse des besoins, des stratégies d'adaptation seront proposées afin d'atténuer les effets négatifs. L'approche retenue doit par la suite être évaluée. Règle générale, les stratégies d'adaptation qui atténuent les effets négatifs des changements climatiques se traduisent par des routes d'accès de qualité supérieure ayant un rendement accru, que les changements climatiques se produisent ou non. Cette stratégie consistant à mettre en œuvre des pratiques d'adaptation qui améliorent le rendement de l'infrastructure, que les changements ou événements climatiques se produisent ou non, s'appelle « l'approche sans regret ». (Olsen, 2015). Compte tenu des ressources limitées pour la planification, la construction et l'entretien des routes d'accès, les efforts doivent être dirigés là où les stratégies d'adaptation sont les plus nécessaires.

Une adaptation efficace aux changements climatiques passe par la création et la mise en œuvre d'une stratégie qui identifie les conditions pour lesquelles l'adaptation est nécessaire, ainsi que les méthodes et pratiques visant à s'assurer que les adaptations se produisent (Figure 3).

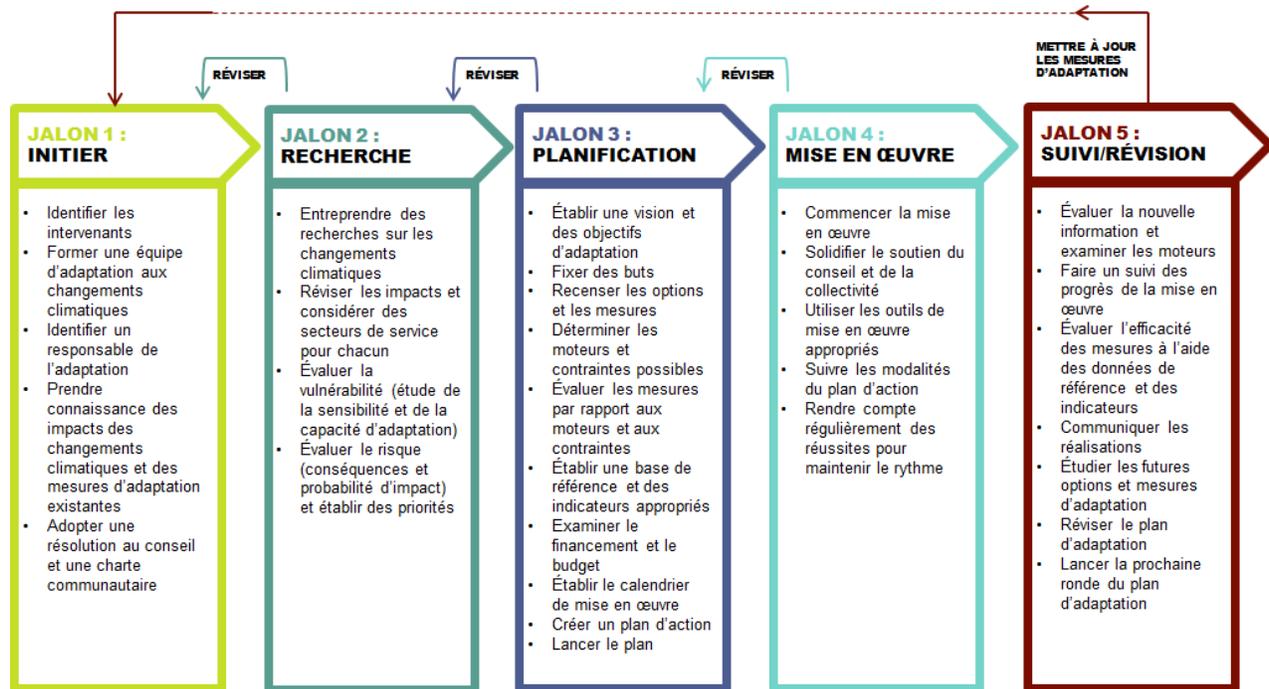


Figure 3. Approche généralisée en matière d'adaptation. Reproduit de Jackson, Barry et Morzak, 2011

## Stratégies d'adaptation

Les approches en matière d'adaptation peuvent être catégorisées en stratégies proactives et réactives, et être considérées comme des approches planifiées. Le choix des stratégies d'adaptation à adopter suppose que leurs avantages soient supérieurs au coût des dommages causés par les changements climatiques et au coût de mise en œuvre de ces stratégies.

**L'adaptation proactive**, qu'on appelle aussi « adaptation anticipée », est une approche planifiée qui maintient le niveau de rendement pour lequel l'infrastructure est conçue avant qu'une détérioration ne survienne. Cette approche peut représenter un défi à mettre en œuvre, car un investissement de départ est nécessaire en planification, prévision, entretien ou construction. Règle générale, l'investissement requis pour mettre en place une infrastructure résiliente présente un rapport coût-bénéfice positif, comparativement à l'adoption d'une approche réactive. (Schweikert, Chinowsky, Espinet et Tarbert 2014). Cette approche implique un processus de décision et des prévisions climatiques à long terme, afin de diminuer la vulnérabilité des structures aux changements climatiques et d'augmenter leur résilience. L'adaptation proactive exige que les pratiques opérationnelles actuelles soient analysées en détail et que leur efficacité soit évaluée en fonction du climat qui change.

**L'adaptation réactive**, parfois appelée « adaptation basée sur un événement » ou approche « attendre et voir », est une approche planifiée selon laquelle la réaction de gestion survient après qu'une structure soit endommagée ou détruite ou que son rendement soit atteint. Le risque inhérent à l'approche d'adaptation réactive est que le niveau de rendement de la route se voit diminuer, possiblement sous les seuils opérationnels et de sécurité.

Une approche réactive peut s'avérer coûteuse, car les interventions d'entretien et de remplacement sont non planifiées et, par conséquent, peuvent avoir un effet négatif important sur le budget. L'adaptation réactive doit aussi tenir compte des prévisions climatiques à long terme pour la planification des interventions et pas uniquement des conditions actuelles ou historiques..

## 5. MÉTHODES ET PRATIQUES D'ADAPTATION DES ROUTES D'ACCÈS

Le développement et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation est une nouvelle discipline et demande un effort continu pour identifier les stratégies efficaces ainsi que les besoins futurs. Cela est particulièrement vrai dans le cas de l'adaptation des routes d'accès et des infrastructures, pour lesquelles très peu d'information est disponible. Les événements météorologiques associés aux changements climatiques, comme les précipitations fortes, ne représentent pas des préoccupations nouvelles pour les gestionnaires de routes d'accès, mais ce sont plutôt la durée et l'intensité de ces événements qui diffèrent. Par conséquent, de nombreuses stratégies déjà existantes en matière de gestion des routes d'accès pourraient devenir, en y portant une attention particulière ou en les modifiant, des pratiques d'adaptation efficaces.

La création de routes d'accès et d'infrastructures résilientes exigera l'identification et la mise en œuvre de mesures d'adaptation à toutes les étapes de la vie utile des composants, notamment lors de la planification, de la construction et de l'entretien.

## Planification, conception et construction

Les étapes de la planification et de la conception d'une route d'accès représentent la première occasion où les stratégies d'adaptation aux changements climatiques peuvent être identifiées et mises en œuvre. L'implantation des stratégies requiert l'identification des risques et des vulnérabilités et l'évaluation des conditions climatiques futures. Voici des pratiques qui pourraient être utilisées pour adapter les routes d'accès aux changements climatiques pendant les phases de planification, de conception et de construction :

1. Réaliser une évaluation précise de l'inventaire, de l'état et du rendement des infrastructures des routes d'accès existantes.
2. Effectuer une vérification de la vulnérabilité des infrastructures des routes d'accès existantes.
3. Anticiper les besoins en infrastructures à court et à long terme,
4. Créer et mettre en œuvre un plan d'inspection et de gestion pour toutes les infrastructures. Le plan d'inspection doit comprendre un calendrier pour les inspections régulières, ainsi que des procédures d'inspection particulières pendant ou suivant les tempêtes ou les événements météorologiques extrêmes.
5. Envisager une approche permettant à l'infrastructure de défaillir de manière contrôlée et prévisible. La conception de routes d'accès et d'infrastructures capables de résister à toutes les tempêtes et inondations n'est ni pratique, ni réaliste sur le plan économique.
6. Les réseaux routiers doivent être conçus de manière à demeurer fonctionnels durant les événements météorologiques extrêmes. Les responsables de la planification doivent identifier des trajets pour l'accès et l'évacuation d'urgence, et concentrer le financement de manière à améliorer la résilience des routes et infrastructures sur ces trajets.
7. Concevoir et construire des routes et des infrastructures de manière à minimiser les effets négatifs potentiels découlant des défaillances. Exemples : diminuer le volume de remplissage, utiliser des matériaux résistants à l'érosion pour la construction et choisir des lieux à faible risque pour la construction.
8. Bien connaître la réglementation en matière de transport, les masses maximales et la configuration des camions. La réglementation comme les périodes de restriction au printemps et les charges supplémentaires en hiver peuvent être des facteurs importants au moment de la planification du transport par véhicule lourd et pour la gestion des infrastructures des routes d'accès pendant certaines périodes de l'année.
9. Envisager l'utilisation de systèmes de contrôle de la pression des pneus (TPCS) et des pneus larges, notamment sur les camions de transport de gravier, afin de réduire leur incidence sur la surface de la route, et pour prolonger l'utilisation de la route pendant les périodes de conditions marginales.

10. Optimiser le nombre de routes, souvent mesurées en zone routière ou densité routière, afin de s'assurer de construire et d'entretenir le minimum de routes pour soutenir les activités économiques et récréatives et maintenir l'accès aux communautés dans une zone donnée. Une densité de routes optimale permet d'utiliser les ressources économiques efficacement, de contrôler les effets à court et à moyen termes des changements climatiques, et de diminuer l'impact environnemental.
11. S'assurer que tous les gestionnaires de routes d'une zone donnée, comme un bassin versant, mettent en œuvre des solutions en réponse à leurs besoins spécifiques et aux besoins des usagers de la route. Par exemple, si les routes situées en terrain élevé sont adaptées en laissant passer les débris et en favorisant l'écoulement pendant les tempêtes, les routes situées plus bas doivent aussi être adaptées en fonction d'un écoulement accru et de la présence de débris.
12. Construire les nouvelles routes dans des zones considérées à faible risque de subir les effets des changements climatiques. Par exemple, construire les routes sur un terrain élevé dans un bassin versant où l'écoulement est inférieur ou empêcher la construction de nouvelles routes dans des zones à risque élevé d'inondation.
13. Envisager de transformer les chemins d'hiver en routes toutes saisons, de manière à offrir un accès fiable pendant toute l'année.
14. Si les prévisions climatiques prévoient des précipitations accrues, les exigences en matière de drainage des nouvelles routes et des routes existantes devront être considérées lors de la construction et de l'entretien. La conception de couronnes de roulement de 3 à 5 % et de dévers en pente abrupte (lorsque possible) permettront d'évacuer l'eau rapidement et efficacement de la surface de la route.
15. On prévoit que certaines régions auront des précipitations inférieures et des températures supérieures. Ces conditions peuvent favoriser la formation de poussière, diminuer la vitesse des véhicules et entraîner des collisions.. Dans ces régions, il serait prudent de recouvrir les routes d'un matériau qui demeure compact et ne produit pas trop de poussière, et être prêt à mettre en œuvre des mesures d'atténuation de la poussière.

## **Traverses de cours d'eau**

Dans bon nombre de régions au Canada, on prévoit que les changements climatiques entraîneront une modification des modèles de précipitations. Cela pourrait se traduire par des épisodes de crue subite et d'autres phénomènes qui modifieront les pointes d'écoulement et la période de l'année où elles se produiront. Ces changements exigeront une analyse spécifique de la capacité des traverses de cours d'eau, ainsi qu'une analyse des besoins projetés, afin d'atténuer les risques de dommages à ces structures. Les pratiques suivantes peuvent régler ces préoccupations :

1. Évaluer les besoins des ponceaux et ponts existants en matière de passage de l'eau en conditions d'inondation, de crue élevée et débris pouvant être générés. Dans les zones où la capacité de rétention des eaux souterraines est faible, on peut s'attendre à des pointes d'écoulement en raison des niveaux de précipitations supérieurs. Au besoin, modifier ou remplacer les structures existantes par des structures de plus grande capacité.

2. Lors de la construction de nouveaux ponceaux, envisager une conception axée sur la simulation du lit du cours d'eau au lieu d'une conception axée sur l'aspect hydraulique, qui tient uniquement compte du débit en cas de tempête. La simulation du lit du cours d'eau tient compte des exigences relatives au passage des poissons et de la géomorphologie du site pour déterminer la taille, la forme et la hauteur d'installation des ponceaux. Les ponceaux construits à l'aide de simulations du lit du cours d'eau se sont montrés plus résistants lors des inondations et des pointes de débit.
3. Dans le cas des cours d'eau où de mouvements importants de sédiments (entraînés du fond du cours d'eau) et de débris sont anticipés, envisager l'installation de grilles et de bassins de rétention en amont pour les intercepter avant qu'ils n'atteignent les infrastructures. Avant et après les tempêtes majeures, inspecter et nettoyer les dépôts de sédiments et débris des canaux de dérivation, des grilles et des bassins de rétention en amont.
4. Au besoin, favoriser l'utilisation de ponts à fleur d'eau et de passage à gué (avec ponceaux intégrés) aux endroits où ces structures sont jugées adéquates. Les ponts à fleur d'eau et les passages à gués (avec ponceaux intégrés) permettent d'accommoder les débits de pointe en laissant passer l'eau, les gros débris et les sédiments par-dessus la traverse de cours d'eau, en n'occasionnant que des dommages minimales.
5. Retirer les traverses de cours d'eau si on prévoit qu'une route sera inactive pour une longue période. S'il est impossible d'effectuer l'entretien courant des traverses ou des éléments de drainage, envisager le retrait d'une partie ou de l'ensemble de ces structures, afin d'éviter les problèmes supplémentaires d'entretien et l'emportement des routes.
6. S'assurer que les traverses de cours d'eau des chemins d'hiver sont en mesure d'accommoder le débit des fontes hâtives et les événements de neige suivis de pluie. Dans bon nombre de régions, on prévoit que les changements climatiques feront augmenter la fréquence des dégels et les épisodes de pluie en hiver, ce qui peut modifier les exigences de passage de l'eau des infrastructures existantes.
7. S'assurer que les traverses de cours d'eau sont orientées selon le chenal naturel, et éviter d'installer une structure qui ferait dévier le chenal naturel. Cela permet à l'eau de suivre son cours naturel et assure une vitesse constante, deux facteurs qui contribuent à minimiser l'obstruction et l'érosion des structures et des rives.
8. Concevoir la structure de manière à utiliser aussi peu de matériaux de remplissage que possible. Cela peut se faire en choisissant la forme de la structure (ronde, en arche ou arche à profil bas) et en estimant les exigences en matière de matériaux de remplissage selon les caractéristiques du site. Une structure contenant moins de matériaux de remplissage représente un risque moindre pour l'environnement en cas de défaillance, et ses coûts d'entretien et de réparation seront moins élevés.
9. Envisager le recours à des structures à portée complète, sans pilier central. Selon la conception et l'emplacement, ce type de structure peut favoriser le passage des débris et être moins à risque d'obstruction.

## Drainage et gestion de l'eau

On prévoit que la gestion de l'eau dans les environnements forestiers sera plus complexe en raison des changements climatiques anticipés dans de nombreuses régions du Canada. Ces changements pourraient faire augmenter la fréquence des épisodes de neige suivis de pluie, les précipitations automnales et printanières et les hivers plus chauds; ce qui accentuerait l'écoulement dû à la fonte des neiges. Ces changements dans le mouvement de l'eau et l'organisation des saisons pourraient entraîner un stress sur les infrastructures de drainage existantes. Voici des exemples d'adaptation aux conditions futures :

1. Révision des lignes directrices actuelles sur l'emplacement, l'espacement et la dimension des ponceaux à drain transversal. Au besoin, augmenter le nombre de ponceaux à drain transversal ainsi que leur diamètre. L'augmentation de la dimension et de l'espacement des ponceaux peut aider à accommoder les débits élevés et à laisser passer plus de débris, ce qui diminue les risques d'emportement. Un autre avantage d'un meilleur drainage est la diminution de la concentration du débit dans le fossé, ce qui a pour effet de diminuer l'érosion et la sédimentation.
2. S'assurer que des matériaux résistant à l'érosion soient utilisés et que des méthodes de stabilisation des berges soient employées avec les ponceaux et à proximité de ces derniers. Les épisodes de crue subite peuvent faire augmenter le risque d'érosion et l'obstruction subséquente des ponceaux.
3. Ne pas se fier uniquement aux fossés et aux drains transversaux pour drainer les routes. Envisager l'utilisation de différentes surfaces de route et de méthodes de drainage des fossés, comme les routes à dévers, les fossés à base large et les saignées.
4. Ajouter d'autres structures de passage de l'eau pour augmenter la capacité de drainage ou de traverses des cours d'eau. Par exemple, sur le remblai d'une route qui traverse une plaine inondable, l'ajout de ponceaux à drain transversal ou de dépressions routières renforcées aideront à laisser passer l'eau et à protéger l'intégrité de la structure et son approche.
5. Dans les zones propices aux glissements de terrain, utiliser des techniques éprouvées en matière de stabilisation des pentes et de prévention de l'érosion, comme l'ajout d'armature ou de végétation, particulièrement au bas de ces dernières. Augmenter la profondeur des fossés traversant des talus d'éboulis ou d'autres zones de chutes de pierres, afin d'empêcher les pierres d'atteindre la surface de la route. Des murs de rétention de faible hauteur permettent d'intercepter le matériel qui déboûle les pentes et créent une rupture de pente plus stable en diminuant son pourcentage. Au besoin, installer des panneaux d'avertissement et des clôtures pour fermer la route aux extrémités des zones à fort risque de glissement de terrain.
6. Sur les crans rocheux près des routes, en présence de signes de chutes de pierres passées ou imminentes, envisager l'installation d'ancrages, de treillis ou de barrières. Dans certaines régions, une augmentation du nombre d'épisodes de gel/dégel est prévue, et ces conditions risquent d'augmenter le risque de chutes de pierres.

7. Lorsque les routes traversent des cours d'eau où le passage de débris est fréquent, envisager l'installation de structures de rétention en amont et remplacer les traverses de cours d'eau existantes par des structures plus robustes si nécessaire. Les options de rétention comprennent les canaux de dérivation et les puits excavés près des barrages de rétention. Des remblais faits de sol renforcé avec géotextile ou des passages à gués (avec ponceaux intégrés) peuvent augmenter la résistance à l'érosion lors du passage des débris dans l'eau.
8. Après le passage de débris dans l'eau, inspecter les canaux de dérivation pour déceler les obstructions résiduelles et les accumulations de matériaux de remplissage. Inspecter les structures de rétention et les traverses de cours d'eau pour déceler les dommages et les diminutions de capacité. Nettoyer les accumulations et effectuer les réparations si nécessaire. Au besoin, créer un plan pour excaver les matériaux déposés sur le lit du cours d'eau, à condition toutefois que les risques pour les poissons soient faibles.
9. Diminuer les risques d'érosion dans les fossés longeant la route en utilisant des saignées et des canaux de dérivation pour éloigner l'eau de la route. Pour éviter l'érosion des fossés et des remblais, s'assurer que des barrages de retenue de taille adéquate soient utilisés dans les fossés pour diriger l'eau dans les drains transversaux et empêcher sa concentration.
10. Incorporer des structures de gestion de l'eau dans la construction de chemins d'hiver lorsque les sols ne sont pas gelés et peuvent être travaillés facilement. Des ouvrages comme les paquets de billes peuvent être enlevés lors de la désactivation du chemin pour créer des fossés transversaux. D'autres comme des saignées et des barrages de retenue peuvent être laissés sur place pour les années subséquentes.
11. S'assurer que le drainage de la surface de la route est efficace au moment de la construction, et subséquemment par un entretien régulier. S'assurer que la route est en dévers ou qu'elle possède une couronne de 3 à 5 %, afin de permettre l'évacuation rapide de l'eau de sa surface. S'assurer que des pratiques exemplaires de nivelage soient utilisées pour éliminer toute obstruction au drainage de la route, comme des talus sans rupture le long de celle-ci.

## Entretien des routes

Afin d'obtenir des routes d'accès qui fonctionnent selon leur niveau de performance et de service escompté, il est essentiel de s'assurer que des pratiques efficaces d'entretien des routes et des infrastructures soient identifiées et appliquées. Il peut être actuellement difficile de mettre en place un programme d'entretien régulier sur les routes d'accès, mais compte tenu des changements climatiques anticipés, les activités d'entretien seront encore plus importantes et devront être accrues afin d'assurer la résilience des infrastructures routières. Voici des exemples de pratiques d'adaptation à envisager :

1. Dans les régions qui connaissent des sécheresses prolongées et où des conditions sèches prévalent, évaluer les stratégies de contrôle de la poussière, afin d'assurer la sécurité routière et le maintien de la vitesse désirée des véhicules. Si nécessaire, augmenter l'utilisation d'abats-poussière et de stabilisants. Effectuer des tests sur les matériaux de surface en lien avec le nivelage, la plasticité des particules fines et la durabilité des agrégats. Une surface de route bien nivelée contenant des particules fines d'argile à faible élasticité est facile à compacter et à sceller. Cela produira une surface de roulement lisse et imperméable qui permet de rouler plus rapidement, qui diminue les exigences liées à l'entretien et qui optimise le rendement des abats-poussière.

2. Mettre en oeuvre un processus continu d'évaluation de la performance et de l'état des routes afin de documenter le niveau de dégradation des routes et des infrastructures. Utiliser cette information pour prioriser le type, l'échéancier et l'emplacement des activités d'entretien et pour anticiper les changements en la matière.
3. Après un glissement de terrain, inspecter la pente rocheuse pour y déceler des formations instables qui pourraient débouler ultérieurement par elles-mêmes ou en raison des vibrations causées par l'excavation des débris sur la route. S'assurer que le site du glissement de terrain est sécuritaire en enlevant ou en stabilisant toutes les formations instables. Après avoir stabilisé les pentes, enlever les dépôts rocheux de la route et des fossés, et façonner les dépôts en amont de manière à stabiliser l'ensemble. Accroître la fréquence des inspections et du nettoyage de la route jusqu'à ce que la stabilité de la pente soit confirmée. Installer des pancartes d'avertissement si des pierres continuent de débouler sur la route.
4. Les ponts et les autres traverses de cours d'eau doivent être inspectés avant et (ou) après de fortes tempêtes afin de déceler les signes d'érosion, de débordement et les accumulations de débris sur les structures et à proximité de ces dernières. Enlever les accumulations de débris qui diminuent substantiellement la capacité hydraulique des structures. En cas de préoccupations liées à l'érosion, au débordement ou aux dépôts, noter les événements météorologiques qui en sont à l'origine. Cette information peut être utile pour adapter les structures aux changements climatiques.
5. Réparer ou améliorer l'armature de l'enrochement, afin de protéger les parties vulnérables de la structure et du canal adjacent. Si les tempêtes déplacent l'enrochement des surfaces armées, cela signifie que l'enrochement n'est pas assez important.

## 6. RÉSUMÉ

Il est reconnu que des changements climatiques se produisent à l'échelle globale, en raison de la production de gaz à effet de serre causée par l'activité humaine. Grâce à cette reconnaissance, les discussions sur les changements climatiques commencent à porter non seulement sur les stratégies d'atténuation des émissions, mais aussi sur les stratégies d'adaptation qu'ils suscitent.

Au Canada, on prévoit que les changements climatiques auront une incidence considérable sur l'industrie forestière. Les besoins d'adaptation à long terme sont principalement associés à des changements dans le régime hydrologique à l'augmentation des feux de forêt et des épidémies d'insectes, à des modifications dans la composition floristique et dans les habitats fauniques entraînant la migration de la faune. Les hivers étant de plus en plus doux et les précipitations de plus en plus abondantes, les effets des changements climatiques sont déjà observables dans les opérations forestières. Ces changements de modèles météorologiques feront augmenter la fréquence et l'intensité des inondations dans de nombreuses régions au Canada. Les routes d'accès sont particulièrement vulnérables aux effets immédiats et à court terme des changements climatiques. Des stratégies d'adaptation doivent être élaborées et leur mise en œuvre doit commencer, sans tarder afin de s'assurer que ces infrastructures seront maintenues et résisteront aux effets des changements climatiques.

Comme l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation pour les routes d'accès dans l'ensemble du Canada constitue un défi, les éléments clés suivants doivent être pris en compte.

### **Comprendre ce qu'est l'adaptation**

L'adaptation des routes d'accès aux changements climatiques comprend les activités de planification, d'entretien ou de construction qui ont pour but de diminuer les effets négatifs des changements climatiques. L'adaptation offre des moyens d'atténuer ces effets négatifs, grâce à la mise en œuvre de pratiques ou d'outils. Elle suppose la compréhension des risques et vulnérabilités, l'identification des éléments des infrastructures où les risques sont les plus élevés et la création d'une stratégie visant à faire en sorte que les composants des routes et infrastructures soient résistants.

### **Connaître les changements climatiques auxquels vous vous adaptez**

Le type, la durée et la fréquence des changements du climat canadien sont variables tant à l'échelle locale que régionale. Mais, en général, le climat canadien devrait se traduire par des températures plus chaudes en été et en hiver, une augmentation des épisodes de crue subite ainsi qu'une augmentation ou une diminution des précipitations de neige, selon la région. Ces changements représentent des indicateurs généraux d'un climat qui change, mais, en eux-mêmes, ils ne sont pas suffisamment précis pour offrir des lignes directrices sur l'adaptation des routes d'accès. Pour que l'adaptation soit efficace, les praticiens doivent combiner leur expérience des conditions climatiques actuelles aux prévisions modélisées à long terme. Une connaissance accrue des conditions climatiques actuelles et anticipées peut aider à concentrer les efforts sur les stratégies d'adaptation et à expliquer aux intervenants les raisons pour lesquelles ces changements et initiatives sont nécessaires.

### **Comprendre les outils et pratiques d'adaptation**

On trouve un éventail de stratégies d'adaptation qui peuvent aider à créer et à développer des routes d'accès résilientes. Ces stratégies sont divisées en stratégies proactives et réactives. Les stratégies proactives sont planifiées et régies par l'anticipation; elles sont mises en œuvre avant la détérioration ou les dommages causés par un événement climatique. Les stratégies réactives peuvent aussi être planifiées, mais elles sont considérées comme des stratégies déclenchées par un événement. Elles sont mises en œuvre après qu'un événement ait entraîné des effets négatifs sur une structure. Il est reconnu que les stratégies proactives ont une influence plus grande sur l'atténuation des effets à long terme, bien qu'une stratégie d'adaptation efficace doit comprendre des stratégies proactives et réactives.

### **Reconnaître que l'adaptation doit se produire à l'échelle locale**

Les effets des changements climatiques sont souvent présentés à l'échelle globale ou régionale. Cependant, des stratégies d'adaptation doivent être mises en place à l'échelle locale, afin d'assurer le développement d'un réseau résilient. Pour cette raison, il n'existe pas de stratégies dont l'efficacité est assurée pour tous les sites ou tous les environnements. Ainsi, afin de créer des stratégies d'adaptation efficaces, les praticiens doivent utiliser un ensemble d'outils et de stratégies jumelé à une connaissance du terrain et des modèles climatiques actuels et à long terme. .

### **Être conscient de l'évolution des stratégies d'adaptation**

L'identification et l'élaboration de stratégies d'adaptation pour les routes d'accès constituent des initiatives très récentes. Pendant de nombreuses années, les discussions sur les changements climatiques ont mis l'accent sur des stratégies d'atténuation visant à diminuer la production de gaz à effet de serre.

Comme il est maintenant reconnu que les changements climatiques se produisent déjà, le point focal des efforts a été modifié de manière à inclure l'élaboration de stratégies qui, non seulement atténuent l'effet des activités humaines sur le climat global, mais atténuent aussi les effets négatifs du climat sur les activités humaines. L'élaboration et la reconnaissance des stratégies d'adaptation continueront d'évoluer à mesure que les connaissances et la sensibilisation liées à cette question se développeront.

## 7. PROCHAINES ÉTAPES

L'adaptation des routes d'accès est un concept relativement nouveau et il existe actuellement très peu d'information quant aux pratiques, à l'évaluation du rendement et aux recommandations permettant de généraliser l'adaptation des routes d'accès. Les routes d'accès sont particulièrement vulnérables aux effets immédiats et à court terme des changements climatiques. Des stratégies d'adaptation pour les routes d'accès et les infrastructures doivent être élaborées et leur mise en œuvre doit commencer, afin de s'assurer que les infrastructures routières nécessaires pour accéder à la forêt soient maintenues et résistent aux effets des changements climatiques.

Afin d'appuyer les stratégies d'adaptation des routes d'accès, il est nécessaire de bien comprendre les conditions climatiques anticipées et les pratiques de gestion des routes. Il existe des lacunes dans les connaissances, notamment sur les éléments suivants :

- Prévisions des changements climatiques à moyen et à long terme
- Identification des paramètres climatiques clés ayant l'effet le plus important sur la vulnérabilité des routes d'accès.
- Identification des composants clés des routes d'accès qui subissent les effets les plus importants des changements climatiques.
- Stratégies et mesures d'adaptation se traduisant par des routes d'accès résilientes.
- Stratégies de gestion, y compris l'analyse coût-bénéfice en appui à la mise en place de stratégies d'adaptation réactives et proactives.
- Efficacité des stratégies d'adaptation grâce aux efforts de surveillance à court et à long terme.

Les routes d'accès constituent un élément important qui soutient non seulement la gestion des forêts au Canada, mais permet aussi l'accès à d'autres industries, aux communautés et aux activités récréatives. Les gouvernements et l'industrie au Canada devront continuer de parfaire leur compréhension des changements climatiques anticipés et les événements extrêmes associés. Ils devront veiller à l'élaboration et de la mise en œuvre de pratiques et de stratégies d'adaptation, afin d'assurer la résilience des routes d'accès.

## 8. LITTÉRATURE CITÉE

Ingénieurs Canada. (2016). *PIEVC Engineering Protocol for Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate, Principles and Guidelines*. (Version PG-10.1).

Hughes, J. F., et Healy, K. (2014). *Measuring the resilience of transport infrastructure* (Report no. 546). New Zealand Transport Agency.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

Jackson, E., Barry, L., et Marzok, N. (2011). *Changing Climate, Changing Communities: Guide and Workbook for Municipal Climate Adaptation*. ICLEI – Local Governments for Sustainability, Canada.

Olsen, J. R. (ed., 2015). *Adapting Infrastructure and Civil Engineering Practice to a Changing Climate. Committee on Adaptation to a Changing Climate*. American Society of Civil Engineers.

Schweikert, A., Chinowsky, P., Espinet, X., et Tarbert, M. (2014). Climate change and infrastructure impacts: comparing the impact on roads in ten countries through 2100. *Procedia Engineering*, 78, 306-316.

## 9. RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Études de cas

BGC Engineering inc. (2011). Climate Change Vulnerability Assessment for NWT Highway 3 – Final Report (Report no. 0836-002). Prepared for the Government of the Northwest Territories – Department of Transportation, Engineers Canada.

British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure and Nodelcorp Consulting Inc. (2010). Climate Change Engineering Vulnerability Assessment: Coquihalla Highway (B.C. Highway 5) Between Nicolum River and Dry Gulch (rev. 4).

British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure and Nodelcorp Consulting Inc. (2011). Climate Change Engineering Vulnerability Assessment: B.C. Yellowhead Highway 16 Between Vanderhoof and Priestly Hill (rev. 4).

British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure, Nodelcorp Consulting Inc., & Pacific Climate Impacts Consortium. (2014). Climate Change Engineering Vulnerability Assessment of Three British Columbia Highway Segments: Highway 20 in the Bella Coola Region, Highway 37A in the Stewart Region, Highway 97 in the Pine Pass Region (rev. 3). Ressources naturelles Canada.

British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure, Nodelcorp Consulting Inc., & Pacific Climate Impacts Consortium. (2014). *Review and Analysis of Climate Change Vulnerability Assessments of Canadian Water Management and Drainage Infrastructure* (rev. 2).

Genivar inc. (2011). Climate Change Vulnerability Assessment for Culverts – Final Report. Préparé pour la Ville de Toronto.

Lalonde, R., Gleeson, J., Gray, P. A., Douglas, A., Blakemore, C., et Ferguson, L. (2012). *Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options for Ontario's Clay Belt – A Case Study* (Report No. CCRR-24). Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario.

United States Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2016). Temperature and Precipitation Impacts on Cold Region Pavement: State Route 6/State Route 15/State Route 16 in Maine (Report No. FHWA-HEP-17-019).

### Adaptation aux changements climatiques – forêts

Carlson, M., Wells, J., et Roberts, D. (2009). *The Carbon the World Forgot: Conserving the Capacity of Canada's Boreal Forest Region to Mitigate and Adapt to Climate Change*. Boreal Songbird Initiative and Canadian Boreal Initiative, Seattle, WA, and Ottawa.

Association des produits forestiers du Canada. (2016). *Forest Industry submission to the public consultation about the pan-Canadian framework on clean growth and climate change*. Ottawa, Ontario.

Johnston, M., Williamson, T., Munson, A., Ogden, A., Moroni, M., Parsons, R., ... Stadt, J. (2010). *Climate change and forest management in Canada: impacts, adaptive capacity and adaptation options. A State of Knowledge report*. Sustainable Forest Management Network, Edmonton, Alberta.

Johnston, M., Williamson, T., Wheaton, E., Wittrock, V., Nelson, H., Hessel, H., ... Lebel, M. (2008). *Climate Change Adaptive Capacity of Forestry Stakeholders in the Boreal Plains Ecozone* (Report no. 12306-3C08). Préparé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation liés aux changements climatiques du Gouvernement du Canada dans le cadre du projet 1383. Saskatchewan Research Council, Saskatoon, SK.

Gauthier, S., Bernier, P., Burton, P. J., Edwards, J., Isaac, K., Isabel, N., ... Nelson, E. A. (2014). Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest. *Environmental Review*, 22(3), 256-285.

Gauthier, S., Lorente, M., Kremsater, L., De Grandpré, L., Burton, P. J., Aubin, I., ... Ste-Marie, C. (2014). *Tracking climate change effects : potential indicators for Canada's forests and forest sector*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa, ON

Lemprière, T.C., Bernier, P.Y., Carroll, A.L., Flannigan, M.D., Gilson, R.P., McKenney, D.W., Blain, D. (2008). *The importance of forest sector adaptation to climate change* (Report no. NOR-X-416E). Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Edmonton, AB.

Nelitz, M., Boardley, S., et Smith, R. (2013). *Tools for Climate Change Vulnerability Assessments for Watersheds*. Préparé pour le Conseil canadien des ministres de l'environnement.

Nelson, H. W., Williamson, T. B., Macaulay, C. M., et Mahony, C. (2016). Assessing the potential for forest management practitioner participation in climate change adaptation. *Forest Ecology and Management*, 360, 388-399.

Northern Development Minister. (2010). *Climate Change and Best Management Practices in the Boreal Forest*. 2010 Northern Development Ministers Forum, Thunder Bay, Ontario.

Peterson, D. L., Millar, C. I., Joyce, L. A., Furniss, M. J., Halofsky, J. E., Neilson, R. P., et Morelli, T. L. (2011). *Responding to climate change in national forests: a guidebook for developing adaptation options* (Report no. PNW-GTR-855). Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

Price, D. T., Alfaro, R. I., Brown, K. J., Flannigan, M. D., Fleming, R. A., Hogg, E. H., ... Venier, L. A. (2013). Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems. *Environmental Reviews*, 21(4), 322-365.

Price, D.T., et Isaac, K.J. (2015). Adapting sustainable forest management to climate change: a comprehensive report on scenarios for vulnerability assessment (Report no. NOR-X-422E). Ressources naturelles Canada, Service de foresterie du Nord, forêts, Centre de foresterie du Nord, Edmonton, AB.

Williamson, T.B., Colombo, S.J., Duinker, P.N., Gray, P.A., Hennessey, R.J., Houle, D., Spittlehouse, D.L. (2009). *Climate change and Canada's forests: from impacts to adaptation*. Réseau de gestion durable des forêts et Ressources naturelles Canada, Service de gestion forêts, Centre de foresterie du Nord Edmonton, AB.

Yang, J., McKenney, D. W., et Weersink, A. (2015). Should climate change make us think more about the economics of forest management?. *The Forestry Chronicle*, 91(1), 23-31.

## **Adaptation aux changements climatiques – général**

Conseil canadien des ingénieurs. (2008). *Adapting to Climate Change: Canada's First National Engineering Vulnerability Assessment of Public Infrastructure*. Ressources naturelles Canada.

Easterling, W. E., Hurd, B. H., et Smith, J. B. (2004). *Coping with Global climate change: The Role of Adaptation in the United States*. Prepared for the Pew Center on Global Climate Change.

Füssel, H.-M. (2007). Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability Science*, 2(2), 265-275.

Government of California. (2009). *2009 California Climate Adaptation Strategy: A Report to the Governor of the State of California in Response to Executive Order S-13-2008*. California Natural Resources Agency.

IBI Group, Hemson Consulting Ltd. and Stantec. (2016). *Working Paper #2 Northern Ontario Multimodal Transportation Strategy: Climate Change Context* (draft). Préparé pour le Ministère des Transports, Ontario.

ICF International. (2010). *Regional Climate Change Effects: Useful Information for Transportation agencies* (Report No. FHWA-HOP-15-026). United States Department of Transportation, Federal Highway Administration.

ICF International, & Parsons Brinckerhoff. (2014). *Transportation Engineering Approaches to Climate Resilience: Assessment of Key Gaps in the Integration of Climate Change Considerations into Transportation Engineering* (Report No. FHWA-HEP-15-059). United States Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., ... Minx, J. C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Lemmen, D. S., Warren, F. J., Lacroix, J., & Bush, E., editors. (2008). *From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007*. Gouvernement du Canada, Ottawa, ON.

Major, D. C., Zimmerman, R., Falcocchio, J., Jacob, K., Horton, R., O'Grady, M., ... Tomczyszyn, T. (2011). *Mainstreaming Climate Change Adaptation Strategies into New York State Department of Transportation's Operations: Final Report*. Columbia University Earth Institute, Center for Climate Systems Research, NY, NY.

Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Núñez, X., D'Agosto, M., Dimitriu, D., ... Tiwari, G. (2014). Transport. Dans : *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., ... Minx, J. C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Snover, A. K., Binder, L. W., Lopez, J., Willmott, E., Kay, J., Howell, D., & Simmonds, J. (2007). *Preparing for Climate Change: A Guidebook for Local, Regional, and State Governments*. In association with and published by ICLEI – Local Governments for Sustainability, Oakland, CA.

Transportation Research Board. (2011). *Adapting Transportation to the Impacts of Climate Change: State of the Practice 2011*. Transportation Research Circular, Number E-C152.

Turnbull, K. (2016). Transportation Resilience: Adaptation to Climate Change and Extreme Weather Events. *Proceedings of the Transportation Research Board Conference 53*. Brussels, Belgium.

Warren, F. J., & Lemmen, D. S., editors. (2014). *Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation*. Gouvernement du Canada, Ottawa, ON.

## **Adaptation aux changements climatiques – transports et infrastructures**

Adelsman, H., et Ekrem, J. (2012). *Preparing for a Changing Climate: Washington State's Integrated Climate Response Strategy – Chapter 10. Infrastructure and the Built Environment* (Publication No. 12-01-004). Washington State Department of Ecology, 151-167.

Andrey, J., Kertland, P., et Warren, F.J. (2014). Water and Transportation Infrastructure. Dans F.J. Warren and D.S. Lemmen (eds.), *Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation*. Gouvernement du Canada, Ottawa, ON, p. 233-252.

Asam, S., Bhat, C., Dix, B., Bauer, J., et Gopalakrishna, D. (2015). *Climate Change Adaptation Guide for Transportation Systems Management, Operations, and Maintenance*. United States Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Axelsen, C., Grauert, M., Liljegren, E., Bowe, M., & Sladek, B. (2016). Implementing Climate Change Adaptation for European Road Administrations. *Transportation Research Procedia*, 14, 51-57.

Bles, T., Bessembinder, J., Chevreuil, M., Danielsson, P., Falemo, S., Venmans, A., Löfroth, H. (2016). Climate Change Risk Assessments and Adaptation for Roads – Results of the ROADAPT Project. *Transportation Research Procedia*, 14, 58-67.

Boyle, J., Cunningham, M., & Dekens, J. (2013). *Climate Change Adaptation and Canadian Infrastructure: A review of the literature*. International Institute for Sustainable Development.

British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure, Nodelcorp Consulting Inc., & Pacific Climate Impacts Consortium. (2014). *Considerations for Addressing Climate Change Adaptation for Transportation Infrastructure in Highway Management, Design, Operation and Maintenance in British Columbia: Best Practices Document* (rev. 10).

Canada. National Round Table on the Environment and the Economy. (2009). *True North: Adapting Infrastructure to Climate Change in Northern Canada*. Ottawa: NRTEE.

CSA Group. (2012). *National Survey of Canada's Infrastructure Engineers about Climate Change*. Préparé pour Ingénieurs Canada.

Deloitte Access Economics. (2016). *Building resilient infrastructure*. Australian Business Roundtable for Disaster Resilience and Safer Communities.

Farghaly, H., Cautillo, C., Xue, H., Poon, D. K. Y., et Filler, R. (2015). *The Resilience of Ontario Highway Drainage Infrastructure to Climate Change* (Report no. DCSO-001). Ministère des Transports de l'Ontario.

Félio, G. (2016). *Integrating climate change risks in asset management and infrastructure decision-making*. WEAO 2016 Technical Conference, Niagara Falls, Ontario.

Furniss, M. J., Ledwith, T. S., Love, M. A., McFadin, B. C., et Flanagan, S. A. (1998). *Response of Road-Stream Crossings to Large Flood Events in Washington, Oregon, and Northern California*. United States Department of Agriculture, Forest Service.

Gillespie, N., Unthank, A., Campbell, L., Anderson, P., Gubernick, R., Weinhold, M., Kirn, R. (2014). Flood Effects on Road-Stream Crossing Infrastructure: Economics and Ecological Benefits of Stream Simulation Designs. *Fisheries*, 39(2), 62-76.

ICF Marbek, et Summit Enterprises International. (2012). *Climate Change Risk Assessment and Adaptation Report: Ministry of Transportation*. Alberta Environment and Sustainable Resource Development.

Keller, G. (2015) *Key Climate Resilience, Storm Damage Risk Reduction (SDRR), or "stormproofing" Principles Applicable to Low-Volume Roads*. TRB 11<sup>th</sup> International Conference on Low-Volume Roads: Table Topic 1.

Keller, G., & Ketcheson, G. (2011). Storm Damage Risk Reduction: Storm Proofing Low-Volume Roads. *Transportation Research Record*, (2203), 211-218.

Keller, G., & Ketcheson, G. (2015). *Storm Damage Risk Reduction Guide for Low-Volume Roads*. United States Department of Agriculture, Forest Service.

Melvin, A. M., Larsen, P., Boehlert, B., Neumann, J. E., Chinowsky, P., Espinet, X., ... Marchenko, S. S. (2017). Climate change damages to Alaska public infrastructure and the economics of proactive adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(2), E122-E131.

Rada, G. R., Schwartz, C. W., Witczak, M. W., & Jafroudi, S. (1989). Analysis of Climate Effects on Performance of Unpaved Roads. *Journal of Transportation Engineering*, 115(4), 389-410.

Tighe, S. L. (2008). *Engineering Literature Review: Roads and Associated Structures: Infrastructure Impacts, Vulnerabilities and Design Considerations for Future Climate Change*. Préparé pour Ingénieurs Canada.

Tighe, S. L., Smith, J., Mills, R., et Andrey, J. (2008). Evaluating Climate Change Impact on Low-Volume Roads in Southern Canada. *Transportation Research Record*, (2053), 9-16.

## Évaluation globale des risques

Institut de prévention des sinistres catastrophiques. (2012). *Telling the Weather Story*. Préparé pour le Bureau d'assurance du Canada.

International Standards Organization. (2009). Risk Management: Principles and Guidelines. (ISO 31000:2009).

Lemmen, D. S., & Warren, F. J. (Eds). (2004). *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*. Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario).

United States Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2012). *Risk-Based Transportation Asset Management: Evaluating Threats, Capitalizing on Opportunities* (Report 1: Overview of Risk Management).

United States Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2012). *Risk-Based Asset Management: Examining Risk-based Approaches to Transportation Asset Management* (Report 2: Managing Asset Risks at Multiple Levels in a Transportation Agency).

United States Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2012). *Risk-Based Transportation Asset Management: Achieving Policy Objectives by Managing Risks* (Report 3: Risks to Asset Management Policies).

United States Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2013). *Risk-Based Transportation Asset Management: Managing Risks to Networks, Corridors, and Critical Structures* (Report 4: Managing Risks to Critical Assets).

## Politiques gouvernementales et information

Deloitte Access Economics. (2013). *Building our nation's resilience to natural disasters*. Australian Business Roundtable for Disaster Resilience and Safer Communities.

Gouvernement du Québec. (2012). *Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques 2013-2020*. Bibliothèque et Archives nationales du Québec.

Government of Alberta. (2010). *Climate Change Adaptation Framework Manual*. (2010). Alberta Sustainable Resource Development.

Government of British Columbia. (2012). *Forest Stewardship Action Plan for Climate Change Adaptation 2012-2017*. British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations.

Government of British Columbia. (2015). *Indicators of Climate Change for British Columbia 2015 update* (rev. ed.). Ministry of Environment.

Government of British Columbia. *FLNR Climate Change Strategy 2015-2020*. British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations.

Government of British Columbia. (2016). *Climate Action Plan Thompson / Okanagan Region 2016-2020*. British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations.

Gouvernement du Nouveau-Brunswick. (2016). *Renforcer la lutte du Nouveau-Brunswick contre les changements climatiques : Guide de discussion*. Province du Nouveau-Brunswick, Fredericton, NB.

Government of Newfoundland Labrador. (2011). *Charting our Course: Climate Change Action Plan*.

Government of Nova Scotia. (2012). *Report from the Nova Scotia Department of Transportation and Infrastructure Renewal (NSTIR) on the ACAS Program*. Nova Scotia Department of Transportation and Infrastructure Renewal.

Gouvernement de l'Ontario. (2016). *Ontario's five year climate change action plan 2016-2020*. Ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique, Toronto, ON.

Gouvernement de l'Ontario. (2017). *Naturally Resilient: MNRF's Natural Resource Climate Adaptation Strategy* (Draft January 2017). Ministry of Natural Resources and Forestry.

Government of Prince Edward Island. (2015). *Prince Edward Island and Climate Change: A Strategy for Reducing the Impacts of Global Warming*. Department of Environment, Energy and Forestry.

Larrivée, C., Sinclair-Désigné, N., Da Silva, L., Revéret, J.P., et Desjarlais, C. (2015). *Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois*. Rapport d'étude, Ouranos.

## 10. ANNEXE A : CONSULTATION DU GOUVERNEMENT DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Afin d'appuyer l'adaptation des routes d'accès et des infrastructures aux changements climatiques, le gouvernement de la Colombie-Britannique a demandé à FPInnovations d'effectuer des consultations avec le personnel du gouvernement dans l'ensemble de la province. FPInnovations a par conséquent effectué quatre consultations téléphoniques en mars 2017, afin de discuter de questions clés avec le personnel du gouvernement, notamment :

- Quels sont les effets et préoccupations principaux des changements climatiques sur les routes d'accès, le cas échéant?
- Quelles sont vos observations et qu'avez-vous fait en réaction?
- Quelles pratiques d'adaptation aux changements climatiques (formelles ou informelles) ont été mises en place?
- Les adaptations sont-elles dirigées par les besoins environnementaux, économiques ou les deux?
- Y a-t-il des lacunes en matière d'information empêchant les adaptations d'être mises en œuvre?
- Sur quels éléments croyez-vous que les efforts d'adaptation aux changements climatiques devraient être concentrés pour appuyer votre travail?

Les consultations ont été appuyées par l'ingénieur en chef du FLNRO, qui a coordonné les téléconférences avec le personnel du gouvernement. Grâce à ces consultations, FPInnovations a été en mesure de communiquer avec 15 employés du gouvernement pour obtenir leur avis.

De nombreux thèmes communs ont été abordés pendant ces consultations. Les défis les plus importants qui ont été relevés pour les routes d'accès sont la gestion de l'eau, ainsi que les changements de température saisonnière et des événements de précipitations. Dans bon nombre de régions de la province, une préoccupation particulière réside dans l'augmentation du nombre d'épisodes de neige suivie de pluie et de gel/dégel; ces événements ont été définis comme ayant un effet important sur l'entretien des routes, comme le gel des ponceaux et une diminution de l'utilisation des chemins d'hiver.

Bien qu'il semble que des mesures d'adaptation soient adoptées dans bon nombre de régions de la province, l'efficacité de ces mesures et l'éventail de mesures d'adaptation disponible n'est pas bien connu. Les mesures d'adaptation actuelles sont concentrées sur les préoccupations immédiates liées aux petits ponceaux qui ne sont pas en mesure d'accommoder les débris et les débits d'eau plus élevés.

La reconnaissance des changements climatiques est toujours en cours, particulièrement pour le personnel sur le terrain assigné aux opérations. Par conséquent, il n'y a pas de ressources consacrées à l'identification des pratiques d'adaptation actuelles et futures. Les pratiques proposées d'adaptation aux changements climatiques sont principalement axées sur des structures alternatives de traverses des cours d'eau, comme les passages à gués, ou des modifications aux types de structures existants, comme les ponts portatifs.

Il est reconnu qu'il existe des lacunes dans les connaissances qui empêchent les ingénieurs et concepteurs de routes de prendre des décisions au quotidien. Des principes directeurs ont été suggérés par diverses agences, mais de nombreux praticiens désirent des données plus détaillées pouvant servir à la prise des décisions, mais aussi pour fournir des justifications. On a également observé un besoin général pour que le personnel de terrain, assigné aux opérations, soit conscient des préoccupations et des risques relatifs aux changements climatiques pour les routes d'accès, et que de la documentation soit développée en conséquence..

Voici une liste des principaux problèmes, préoccupations et suggestions dont le personnel du gouvernement de la Colombie-Britannique a fait état durant les séances de consultation.

### **Effets des changements climatiques sur les routes d'accès**

- Les problèmes principaux semblent être liés aux glissements de terrain, à l'instabilité des pentes et aux problèmes historiques de planification (routes mal placées).
- Les effondrements, les épisodes de débit massif de débris sont plus fréquents dans certaines régions.
- Les épisodes de neige suivie de pluie sont plus fréquents dans certaines régions.
- Les épisodes de gel/dégel sont plus fréquents, ce qui entraîne le gel des ponceaux et empêche l'eau de passer durant les épisodes de fonte.
- Les ponceaux gelés représentent une inquiétude croissante; le climat plus doux se traduit par de la pluie en janvier, suivie de cycles de gel/dégel, ce qui entraîne le gel de fossés et des petits ponceaux.
- Les cycles de gel/dégel entraînent l'augmentation des activités de nivelage en hiver.
- Les hivers plus doux entraînent des fermetures de routes à des moments différents dans le Nord.
- La diminution des chutes de neige permet aussi le transport en continu, et les routes n'ont pas été conçues pour cela.
- Il y a plus de jours glissants en hiver en raison de la pluie sur les routes gelées, ce qui rend la surface glacée.
- L'eau arrive plus vite et plus tôt au printemps, l'eau s'écoule plus tôt dans la saison et ne peut être absorbée par le sol, en raison du gel.
- Les routes auront peut-être besoin de plus de matériaux résistants à l'érosion, plus de ballasts et de pierres pulvérisées.
- Les modèles montrent des printemps, hivers et automnes plus humides.
- Les vieilles structures constituent le problème principal.
- Les épisodes de fortes pluies ont augmenté l'érosion sur la surface de la route.
- Les zones plus sèches ne peuvent accommoder les pointes de débit comme les zones humides naturelles stabilisées.

- Les étés sont plus secs dans le Nord.
- Les tempêtes sont plus intenses, la quantité annuelle de pluie est à peu près inchangée, mais elle tombe en épisodes intenses.
- Les tempêtes sont plus localisées, mais très intenses.
- La pluie sature les sols, ce qui fait en sorte que les épisodes de pluie subséquentes créent des ruisseaux partout. Les ponceaux et fossés débordent.
- De plus en plus d'opérations de transport et de récolte doivent être arrêtées en automne en raison du climat humide.

### **Méthodes d'adaptation déjà mises en œuvre**

- On croit que certaines régions et certaines opérations surdimensionnent leurs ponceaux, mais ce n'est pas répandu.
- Il y a des exemples où le diamètre des ponceaux a augmenté en ajoutant 10 % au diamètre prévu pour les pointes de débit, comme suggéré par l'APEGBC.
- La taille des enrochements augmente, mais peut d'information/de données pour aider à la conception.
- Les pointes de débit causées par la pluie sont problématiques et les ingénieurs commencent à calculer des pointes plus importantes.
- Dans certaines régions, le diamètre minimum des ponceaux est passé de 450 à 600 mm, afin de mieux laisser passer les débris.
- La dimension des petits ponceaux est calculée à l'aide de la méthode californienne, taille moyenne x3 pour le calcul Q100, mais est passée à 3,1 pour les petits ponceaux.
- Utilisation accrue de passages à gués en réponse à la difficulté d'entretien des petits ponceaux.
- Passages à gués modifiés à l'essai.
- Ponceaux à parois épaisses utilisés.
- Plus d'activités de dragage ont eu lieu pour la gestion des sédiments dans le cas des structures ayant connu des dépôts.

### **Méthodes d'adaptation envisagées ou suggérées**

- Les routes peuvent être mises hors service et reboisées; cela peut être considéré comme une méthode d'atténuation.
- La diminution de la densité des routes peut aider un réseau routier à s'adapter aux changements climatiques.
- Les passages à gués modifiés pourraient devenir plus fréquents.

- Les passages à gués ne sont pas fréquents dans le Nord, mais pourraient le devenir pour permettre l'accès aux activités récréatives.
- Les passages à gués peuvent être une solution et peuvent être fermés en période de débit élevé.
- Des ponts portatifs/temporaires peuvent être installés puis retirés à l'hiver. Cela diminue les risques de défaillance totale en période d'inondation ou de débris.
- Au centre de la Colombie-Britannique, on utilise des saignées, mais d'autres méthodes de gestion de l'eau comme des rigoles pourraient être nécessaires.
- Le centre de la Colombie-Britannique pourrait tirer profit des pratiques de gestion de l'eau utilisées sur la côte.
- L'importance de l'entretien des routes connaîtra une hausse.

## **Lacunes en matière d'information et de connaissances**

- Les tableaux de conception des ponceaux doivent être mis à jour en fonction de l'intensité, de la durée et de la fréquence des épisodes de pluie, des débris et de la manière dont ces variables s'inscrivent dans les traverses de cours d'eau.
- Des lignes directrices sont nécessaires relativement à la dimension des ponceaux, non seulement des données hydrologiques, mais aussi la confirmation de l'efficacité des lignes directrices générales actuelles, comme l'augmentation de 10 % des pointes de débit.
- Les épisodes de neige suivis de pluie, la forme qu'ils prendront, les préoccupations dont il faut tenir compte, ce que nous devons faire différemment, les données et les tendances en matière d'écoulement.
- Les ingénieurs manquent de connaissances pour déterminer les risques de glissements de terrain, par exemple.
- Manque d'inventaire détaillé des plans à long terme pour les infrastructures existantes.
- La dimension des enrochements est en hausse, mais peu d'information pour aider à la conception.
- Manque d'information pour que les ingénieurs puissent prendre des décisions au quotidien relativement à la conception.
- Comment les cycles de gel/dégel influencent la conception ou l'entretien des routes et les matériaux utilisés.
- Combien d'argent consacrer aux techniques adaptatives par rapport aux risques et aux effets.

- Il est nécessaire de classifier les caractéristiques naturelles, comme les ruisseaux, en fonction de leurs risques et vulnérabilités.
- Il faut augmenter la conscience face aux changements climatiques, ses effets et les méthodes d'adaptation qui s'y rattachent et qui visent le personnel sur le terrain.
- Comment changer les normes et les politiques à l'échelle locale ou provinciale en matière de changements climatiques.
- Besoin de modèles climatiques par district en appui à l'adaptation aux changements climatiques.



## Siège

### Pointe-Claire

570, boul. Saint-Jean

Pointe-Claire, QC

Canada H9R 3J9

T 514 630-4100

### Vancouver

2665 East Mall

Vancouver, BC.

Canada V6T 1Z4

T 604 224-3221

### Québec

319, rue Franquet

Québec, QC

Canada G1P 4R4

T 418 659-2647



NOTRE NOM EST INNOVATION

