

# Importance du pergélisol, de la glace et du gel saisonnier du sol pour les réseaux routiers du Canada

D. Hayley et R. McGregor  
EBA Engineering Consultants Ltd., Canada  
[dhayley@eba.ca](mailto:dhayley@eba.ca) et [rmcgregor@eba.ca](mailto:rmcgregor@eba.ca)  
pour Transports Canada, Ottawa

## RÉSUMÉ

Le transport à l'appui de la mise en valeur des ressources naturelles et de l'agriculture dans les régions froides du Canada utilise un réseau routier dont une partie dépend du pergélisol, de la glace et/ou du gel saisonnier du sol.

Le présent article traite des routes qui sont établies sur le pergélisol, et de certains aspects de leur performance qui peuvent être touchés par le changement climatique. Il présente des études de cas de routes du Nord du Canada, qui servent à décrire les impacts et adaptations liés à ce phénomène.

Au Canada, les routes d'hiver et les routes de glace servent à ravitailler les collectivités éloignées et à appuyer la mise en valeur des ressources. Par exemple, la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto est l'infrastructure qui soutient l'industrie de l'extraction des diamants dans les Territoires du Nord-Ouest. L'étude de cas concernant cette route sert à illustrer les impacts du changement climatique sur cette industrie, et le rôle déclencheur qu'a eu ce phénomène dans le développement de nouvelles technologies qui permettent de profiter au maximum de la saison d'exploitation de plus en plus courte.

Les restrictions de poids saisonnières ont une forte incidence sur l'économie de la région des Prairies du Canada. Il est important, par suite du changement climatique, d'envisager des modifications à ces restrictions. L'article examine les aspects des restrictions de poids saisonnières sensibles au changement climatique, de même que des stratégies d'adaptation éventuelles.

L'article se termine sur des déclarations sommaires concernant les conclusions à tirer de ces réflexions, à savoir la nécessité de revoir l'approche canadienne de gestion de l'infrastructure routière dans les régions froides du Canada.

## 1. INTRODUCTION

Au Canada, les grandes distances qui séparent les ressources des marchés (tant nationaux qu'étrangers) font en sorte qu'une grande partie de notre système de transport est constitué de routes. Nos latitudes nordiques rendent ces routes particulièrement sensibles aux effets que la tendance au réchauffement du climat pourrait avoir sur cette infrastructure critique. Le transport des personnes et des marchandises, dans les secteurs des ressources naturelles et de l'agriculture, dépend pour une grande part d'un réseau routier qui a été conçu pour être utilisé pendant quatre saisons distinctes. L'hiver produit du terrain gelé, de la glace et de la neige dont on tire parti, dans beaucoup de régions du pays, pour compléter le réseau routier. Or, ces routes qui reposent sur de la glace et un terrain gelé sont particulièrement sensibles aux effets du réchauffement climatique. Et ces effets apparaissent de plus en plus comme des contraintes qui appellent des stratégies d'adaptation.

Cet article examine les effets du changement climatique sur les structures routières soumises à des cycles de gel et de dégel. Il existe trois catégories de routes pour lesquelles la nécessité de composer avec les changements climatiques, tout minimes soient-ils, influe maintenant sur les décisions concernant les stratégies futures en transport au Canada. Les voici :

- routes construites sur le pergélisol;
- routes d'hiver construites sur de la glace et de la neige compactée;
- structures routières soumises à des restrictions de poids saisonnières, en raison du gel et du dégel.

Cet article examine certains phénomènes attribuables au réchauffement climatique qui influent actuellement sur les prises de décisions au Canada. Il décrit également des initiatives qui sont prises ou envisagées pour atténuer les effets de nouveaux régimes climatiques ou s'y adapter.

## **2. STRUCTURES ROUTIÈRES REPOSANT SUR LE PERGÉLISOL**

### **2.1 Routes sur terrain pergélisolé**

Un terrain pergélisolé est défini comme un sol dont la température est inférieure à 0 °C durant toute l'année. Cette définition s'appuie sur l'état thermique du sol ou de la roche. Au Canada, on trouve le pergélisol dans les régions nordiques où la température moyenne annuelle de l'air est inférieure à 0 °C. Le terrain pergélisolé peut être considéré comme gelé en permanence, avec une mince couche supérieure « active », qui fond chaque été. Le terrain gelé présente des proportions variables de glace souterraine. En général, la quantité de glace dépasse largement celle de l'eau retenue dans le sol après le premier dégel. Au moment du dégel, l'excédent d'eau est éliminé du sol et le tassement du terrain entraîne des affaissements importants. La stabilité thermique du sol gelé est sensible à de faibles variations de transfert de chaleur à la surface du sol. Des perturbations de la surface, comme une diminution de la végétation ou une capacité moindre de retenir l'humidité, peuvent altérer le bilan thermique à la surface, ce qui peut provoquer le dégel et l'épaississement de la couche active. Ces conditions posent des défis aux ingénieurs routiers, particulièrement à la limite sud du pergélisol, où la température du sol oscille autour de -1 °C et 0 °C. Toute variation du flux thermique entre le sol et l'air peut déclencher une fonte régressive qui peut entraîner d'importants affaissements de terrain. Ces conditions sont exacerbées par les incertitudes reliées à la tendance au réchauffement climatique. L'ingénieur routier se voit souvent obligé de faire un difficile compromis entre le contrôle des coûts d'immobilisation et un entretien à long terme de remblais sujets à des affaissements très variables, dont la vitesse et l'ampleur sont difficiles à prévoir.

L'expérience de deux grands axes routiers du Nord du Canada, soit la route de Dempster (route 8 des T.N.-O.) et la route de Yellowknife (route 3 des T.N.-O.) a été présentée par Hayley (1) à une conférence spécialisée sur le transport nordique. Les effets du changement climatique observés sur le système routier des Territoires du Nord-Ouest ont été présentés par LeBouthillier (2). La route de Dempster, seul lien routier avec l'Arctique, se termine à Inuvik, près du delta du Mackenzie. La route, construite dans les années 1970, a permis de recueillir une information de base précieuse pour la conception de futures routes et la gestion de la construction sur du terrain pergélisolé au Canada. Les

principes de conception adoptés à l'époque ont été décrits par Huculac et coll. (3). Le tronçon de 85 km qui longe les pentes orientales des monts Richardson, près de la vallée du Mackenzie, traverse des sols résiduels et colluviaux qui sont particulièrement riches en glace de sol « en excès ». Les températures naturelles du pergélisol varient de -7 °C à -9 °C loin à l'intérieur de la zone où le pergélisol est considéré continu. Le relief en pente et les grands volumes de glace de sol rendent ce terrain particulièrement sensible à la perturbation causée par le dégel et à l'érosion qui s'ensuit. Il n'est pas rare d'observer des coulées dues au dégel à quelques centaines de mètres de la route.



Figure 1 – Route de Dempster, km 8,5 près de Rat Pass

Dans cette région, la route de Dempster suit généralement un tracé est-ouest. Les vents dominants du nord entraînent la formation de gros bancs de neige sur le talus du côté sud de la route. Cette neige de plusieurs mètres d'épaisseur sert d'isolant au pergélisol sous-jacent, ce qui entraîne une hausse graduelle de sa température. Avec le temps, une fissuration longitudinale apparaît au sommet des talus élevés, devenus instables sous l'effet du dégel. En même temps, le sol de fondation sur lequel ils reposent s'affaiblit et subit un fluage. Ces conditions ne sont pas inhabituelles, mais elles montrent qu'on ne peut construire une route en remblai sur un terrain pergélisolé sans avoir une incidence sur le sol de fondation sous-jacent, sensible au dégel, même dans des régions où le pergélisol semble continu.

La combinaison du réchauffement du sol de fondation et d'un sol riche en glace peut aussi mener à la défaillance catastrophique de la plate-forme. Une telle défaillance s'est produite à la fin de l'automne 1985, lorsque de l'eau a percolé sous le remblai, ce qui a causé l'érosion thermique d'un coin de glace de sol. Le remblai s'est affaissé dans l'espace vide, causant une défaillance de la plate-forme, qui a entraîné un accident mortel. De tels événements peuvent être plus fréquents lorsque au réchauffement climatique s'ajoute une forte épaisseur de neige. Pour gérer ces risques, une vigilance accrue s'impose de la part du personnel d'entretien, ainsi qu'une vérification de l'intégrité du remblai au moyen d'une technique non destructive, comme le géoradar.



Figure 2 – Étude du sol par géoradar, route de Dempster

## 2.2 Amélioration de la route de Yellowknife

La route de Yellowknife (route 3) s'étend sur une distance de 340 km. Elle va du fleuve Mackenzie jusqu'à Yellowknife, en contournant le Grand lac des Esclaves par le côté nord. Contrairement à la route de Dempster, la route de Yellowknife est située près de la limite sud de la zone de pergélisol, où les sols pergélisolés sont chauds et discontinus. À l'origine, elle a été construite par le gouvernement fédéral au cours des années 1960. Ces dix dernières années, le gouvernement territorial a procédé à des améliorations pour la rendre conforme aux normes modernes. Ces travaux ont été à la fois compliqués et coûteux. En effet, le tracé de la route originale laissait à désirer, car elle serpentait autour de nombreux affleurements de granit caractéristique du Bouclier canadien. Les travaux ont amélioré les distances de visibilité, car on a reconstruit sur les affleurements rocheux en aménageant des passages au-dessus des terres basses mal drainées, où le pergélisol chaud constitue au moins la moitié du terrain.

La pratique courante pour la conception de routes construites sur le pergélisol consistait soit à protéger le pergélisol, en configurant la route de façon que le sol de fondation demeure gelé, soit à reconnaître que le pergélisol allait régresser avec le temps et à adopter un programme d'entretien en conséquence. Les caractéristiques de conception appliquées à la route de Yellowknife ont été décrites par Hoeve et coll. (4). La reconstruction de la route ne pouvait répondre à ni l'un ni l'autre de ces critères, car la tendance au réchauffement local, évaluée à 0,5 °C par décennie, empêche une préservation économique du pergélisol quand les températures initiales du sol sont supérieures à -1 °C. Il restait une autre approche, soit celle de l'atténuation du risque. La conception optimisait les caractéristiques de performance à long terme du remblai, qui représentent le plus grand risque pour les coûts d'entretien et la sécurité. Les caractéristiques suivantes ont été retenues afin d'atténuer les effets du changement climatique et de ralentir le dégel, pour un scénario qui comprend le réchauffement climatique :

- le cœur du remblai comprend au moins deux mètres d'épaisseur d'enrochement de carrière, ce qui donne à l'ouvrage la résistance interne nécessaire pour une répartition égale des affaissements futurs;
- un accotement sacrificiel et des talus plats ont été aménagés, car on a pris acte que le sol pergélisolé sous les talus allait être le premier à fondre;
- un système de gestion de la neige a été instauré, pour favoriser le plus possible le déneigement des talus;
- des talus avec une pente aussi faible que 4 ou 6 pour 1 ont été prévus pour les parties basses, afin d'éloigner l'eau stagnante et de réduire l'amoncellement de neige;
- un système de surveillance de la température du sol a été mis en œuvre pour faire le suivi de la réaction du pergélisol.

La température du sol dans et sous le remblai a été mesurée à plusieurs endroits caractéristiques du terrain pergélisolé, au cours des quatre dernières années. Dans tous les cas, une régression lente et prévisible du pergélisol a été constatée. Dans certains cas, le pergélisol se maintient, mais sa température augmente. Partout, les talus avaient été plus ou moins endommagés par suite de la fonte du pergélisol après la première année. Le sol sous le cœur du remblai est demeuré pergélisolé pendant trois à cinq ans. L'atténuation de la fonte et des affaissements a suffisamment préservé l'intégrité du remblai pour que les véhicules puissent y rouler confortablement à 90 km/h.

### 2.3 Stratégies d'adaptation au changement climatique pour les routes reposant sur le pergélisol

Le réchauffement climatique influe sur la performance de nombreuses routes construites sur le pergélisol dans le Nord du Canada. Les nouvelles routes construites près de la limite sud de la zone de pergélisol, comme la route 3, par exemple, doivent être conçues de façon à créer un équilibre entre le coût d'immobilisation et les risques que pose le recul du pergélisol sur la performance à long terme de la route. Dans la plupart des cas, il ne sera pas possible de concevoir les futures routes en tenant pour acquis que le sol de fondation demeurera pergélisolé. La stratégie consiste à opter pour une conception fondée sur l'évaluation du risque, qui comprend la prévision du rythme de fonte et l'adoption de techniques pour atténuer les effets des affaissements dus au dégel.



Figure 3 – Route de Yellowknife après sa reconstruction

Des techniques spécifiques pour le site ont été utilisées pour compenser la chaleur accrue absorbée par le sol de fondation par suite de la hausse exceptionnelle de la température de l'air. Il convient d'envisager le recours à ces techniques lorsque la fonte du pergélisol est telle que des affaissements sont prévisibles et que les méthodes de conception courantes ne peuvent les empêcher. Ces techniques sont les suivantes :

- utilisation de thermosiphons pour mieux extraire la chaleur du sol l'hiver. Ces dispositifs ont été utilisés pour stabiliser les remblais de chemins de fer reposant sur du pergélisol en dégel au Manitoba (5) et sur des remblais de routes subsidents en Alaska (6);
- conception qui utilise des matériaux d'enrochement à granulométrie ouverte pour provoquer le transfert de chaleur par convection dans les matériaux de remblai. La convection naturelle de l'air à l'intérieur d'un remblai en enrochement constitue un mécanisme d'appoint efficace pour extraire la chaleur en hiver (7);
- utilisation sélective d'isolant à l'intérieur du remblai;
- utilisation d'un revêtement de surface qui réfléchit le rayonnement solaire, comme des granulats blancs texturés.

Les stratégies d'adaptation spécifiques pour un site trouvent habituellement des applications restreintes dans un long corridor linéaire. Par le passé, elles ont été utilisées pour des interventions ponctuelles, à des endroits où la grande instabilité du sol posait des problèmes chroniques d'entretien.

### **3. ROUTES D'HIVER**

#### **3.1 Routes d'hiver aménagées sur de la terre et de la glace**

Les routes d'hiver, construites chaque saison sur de la neige compactée et de la glace, sont l'infrastructure qui permet d'accéder aux régions éloignées du Nord du Canada depuis les années 1940. Elles servent souvent de lien entre les collectivités des Premières nations disséminées dans tout le nord de l'Ontario et du Manitoba. Ces provinces, avec la Saskatchewan et les Territoires du Nord-Ouest, entretiennent un réseau étendu de routes d'hiver publiques, qui servent surtout au ravitaillement des collectivités isolées du Nord. On a aussi trouvé à ces réseaux d'autres fonctions, soit d'appuyer l'exploitation des ressources naturelles du Nord, dont le poisson, au Manitoba, et le bois, en Ontario et au Manitoba (8).

Dans les années 1960, les routes d'hiver ont pris une autre signification pour le Canada, alors qu'elles ont été prolongées sur des centaines de kilomètres au nord du cercle arctique pour appuyer l'industrie minière. Il serait d'ailleurs plus juste de donner à ces routes l'appellation « routes de glace », car elles reliaient de longues chaînes de lacs, dont la couche de glace servait au transport (9). Aujourd'hui, les routes de glace forment une composante essentielle de l'infrastructure de transport dans le Nord du Canada. Par exemple, une de celles-ci, la route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto, dessert une nouvelle industrie d'extraction des diamants dans le Canada arctique. On a estimé que cette route, et les mines qu'elle dessert, avait contribué pour 1,6 milliard de dollars au produit intérieur brut (PIB) du Canada, en 2001 (10). Ce chiffre serait encore plus élevé aujourd'hui.

La saison d'utilisation des routes construites sur de la glace et de la neige compactée dépend de la rigueur de l'hiver. Kuryk (11) décrit l'évolution de la saison hivernale qui a raccourci la période d'utilisation des routes d'hiver au Manitoba. Ainsi, en 1998, le réseau des routes d'hiver du Manitoba a connu une mauvaise performance, ce qui a entraîné des coûts élevés de transport aérien pour la desserte des collectivités nordiques. Non seulement ce raccourcissement de la période de disponibilité des routes représente-t-il un risque pour le ravitaillement des collectivités, mais il pousse aussi les entrepreneurs chargés de la construction des routes à compromettre la sécurité des opérateurs. Ces cinq dernières années, il est survenu chaque année, en moyenne, dans l'Ouest du Canada, une rupture du couvert de glace ayant entraîné la mort. Ces risques sont nettement inacceptables et ils ont suscité la recherche active de stratégies d'adaptation pour le transport sur des routes de glace, en cette période actuelle de réchauffement climatique.

Les stratégies générales d'adaptation ont compris la construction de ponts pour remplacer les ponts de glace sur les cours d'eau à fort débit, et l'abandon graduel de la glace au profit du sol gelé, pour les tronçons de routes situés plus au sud, particulièrement au Manitoba. Parallèlement à ces changements, on a beaucoup accru le recours à une technologie améliorée pour juger de la capacité portante d'une nappe de glace. Témoin de ces améliorations, les procédures normales d'exploitation sur des couverts de glace sont mieux documentées et elles forment maintenant la base des plans de sécurité des chantiers inclus dans les contrats.

### 3.2 Étude de cas – Route d’hiver reliant Tibbitt à Contwoyto

Yellowknife, Territoires du Nord-Ouest, centre névralgique des activités minières dans le Nord du Canada, a connu ses deux hivers les plus doux en 65 ans de collecte de données au cours des huit dernières années (1999 et 2006). Des écarts de plus en plus grands par rapport aux conditions « normales sur 30 ans » sont observés et les données indiquent une nette tendance à la hausse de la température moyenne annuelle de l’air, hausse que l’on estime à 0,5 °C par décennie. La route d’hiver de Tibbitt à Contwoyto, que l’on voit à la figure 4, commence à 70 km à l’est de Yellowknife et s’allonge sur 600 km vers le nord. Construite à 85 p. 100 sur de la glace de lac, elle sert de corridor de construction et de ravitaillement pour l’industrie canadienne de l’extraction des diamants. Le débit des véhicules croît constamment, mais en même temps, on prévoit un déclin de la fenêtre d’utilisation sûre de la route. Les camions utilisés pour le transport du carburant et des fournitures à la mine ont un poids nominal brut (PNBV) de 63 500 kg et leurs charges maximales peuvent atteindre 100 000 kg. La saison d’activité 2007 a été la meilleure enregistrée jusqu’à maintenant : plus de 10 000 camions chargés ont fait le voyage vers le nord, pendant une période d’utilisation qui a duré 72 jours. Cela tranche avec la saison 2006, qui a été l’hiver le plus chaud enregistré dans la région. La saison a ouvert tard, et elle a fermé tôt en raison de l’état incertain des glaces, soit au bout de seulement 49 jours. Il a donc été impossible, en 2006, de faire toutes les livraisons de carburant et de matériaux par la route, ce qui a nécessité l’instauration d’une coûteuse navette aérienne à la fin de la saison.

Cette route serait l’infrastructure routière saisonnière reposant sur de la glace de lac la plus utilisée au monde. Elle a plus de 20 ans d’histoire, mais son utilisation intensive ne date que du milieu des années 1990, alors qu’a débuté la construction de la mine de diamants EKATI. Selon les projections effectuées, la circulation continuerait de croître jusqu’en 2013, avant de se stabiliser et de diminuer au cours des 14 années qui suivront. Si cette route a été aménagée en tant que corridor de glace, c’est surtout parce que le terrain accidenté du Bouclier canadien, avec son substrat rocheux à découvert dans lequel sont intercalées des terres basses touchées par le pergélisol, rendrait très coûteuse la construction d’une route toutes saisons (figure 5).



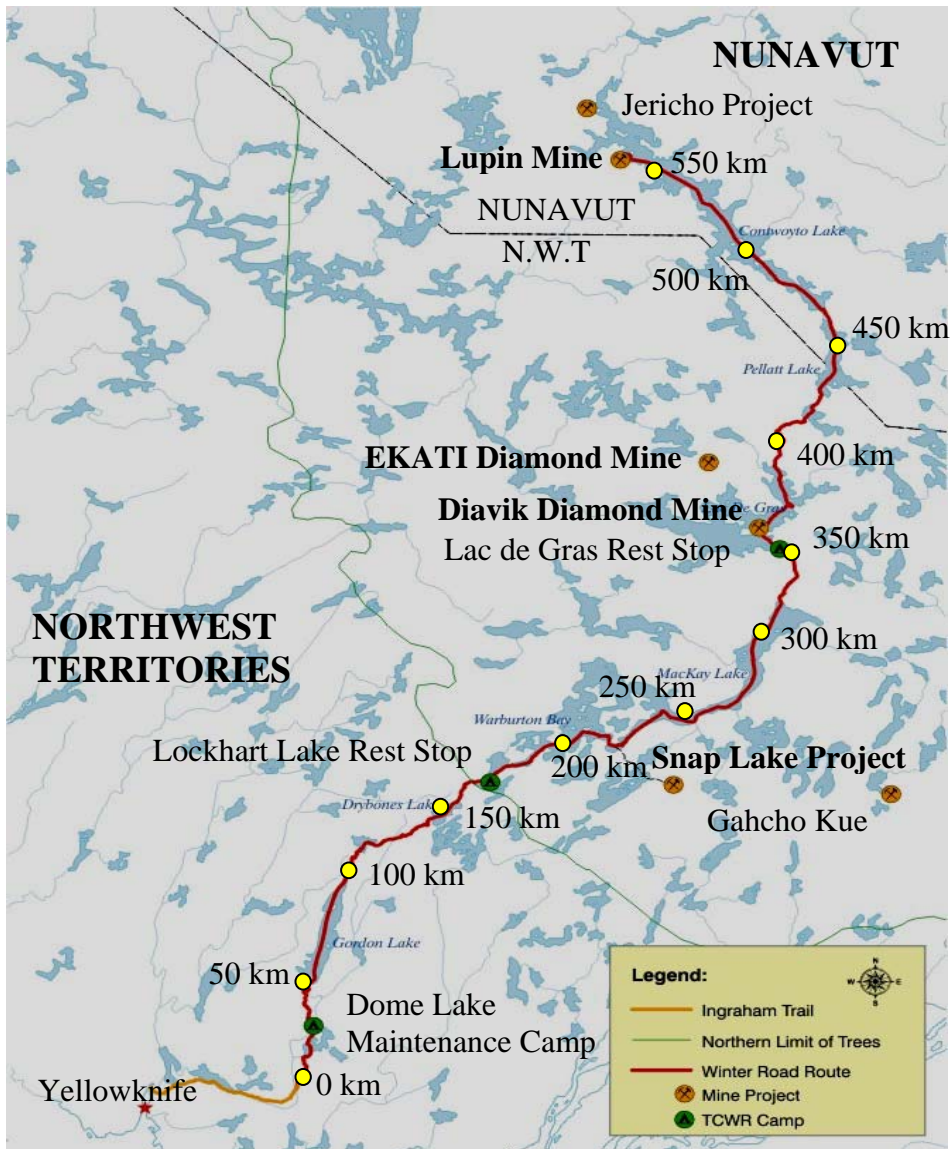


Figure 4 – Route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto



Figure 5 –Opérations contrôlées sur la route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto

La route d'hiver est exploitée par une coentreprise des deux principales mines, soit la mine de diamants EKATI et la mine de diamants Diavik. Les exploitants ont examiné les risques associés au réchauffement climatique qui pèsent sur la capacité des routes de répondre aux besoins futurs de transport de marchandises pendant la saison hivernale. L'objectif au départ était d'utiliser la technologie pour optimiser une infrastructure de transport d'hiver qui est au maximum de sa capacité ou s'en approche. La prise de conscience que la technologie ne pourrait pas, à elle seule, réduire suffisamment le risque a modifié l'objectif, qui consiste désormais à examiner une gamme élargie de stratégies d'adaptation pour compléter ou même remplacer la route en tant que seul axe de ravitaillement de surface.

Une étude réalisée par EBA Engineering Consultants Ltd. (12) a examiné les risques que le réchauffement climatique fait peser sur les activités futures de transport en établissant une corrélation entre la durée de la saison d'utilisation des routes et l'indice cumulatif de gel de l'air pour la saison. La combinaison de l'indice de gel de l'air et de la couverture neigeuse commande le rythme de la formation de la glace naturelle et la capacité de la couche de glace de supporter des charges tard dans la saison. La variabilité de l'indice de gel pour le tronçon sud de la route est représentée par les données historiques de Yellowknife, à la figure 6. On prévoit que l'indice de gel diminuera à un rythme de 174 °C jours par décennie, ou une diminution d'environ 0,5 % de la capacité de gel disponible, chaque décennie. L'indice de gel a été sommairement corrélé avec la saison d'activité historique, à la figure 7, ce qui a mené à la conclusion que même si, à l'heure actuelle, une saison normale dure environ 65 jours, celle-ci pourrait n'être que de 54 jours au moment où le volume de trafic atteindra son maximum prévu et amorcera un déclin marqué, en 2020. Ces prévisions ont suscité un examen exhaustif des stratégies d'adaptation les plus appropriées à court terme, à moyen terme et à long terme.

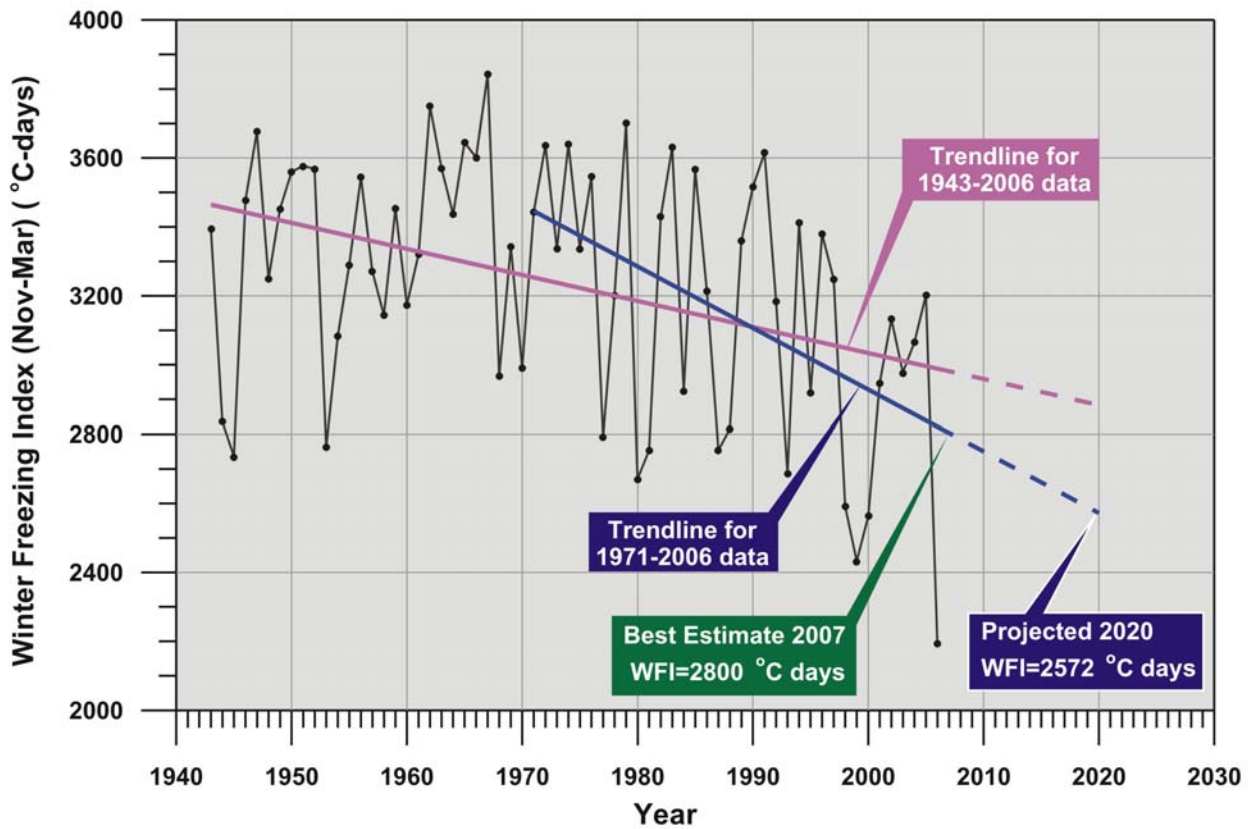


Figure 6 – Variabilité de l'indice de gel pour le tronçon sud de la route

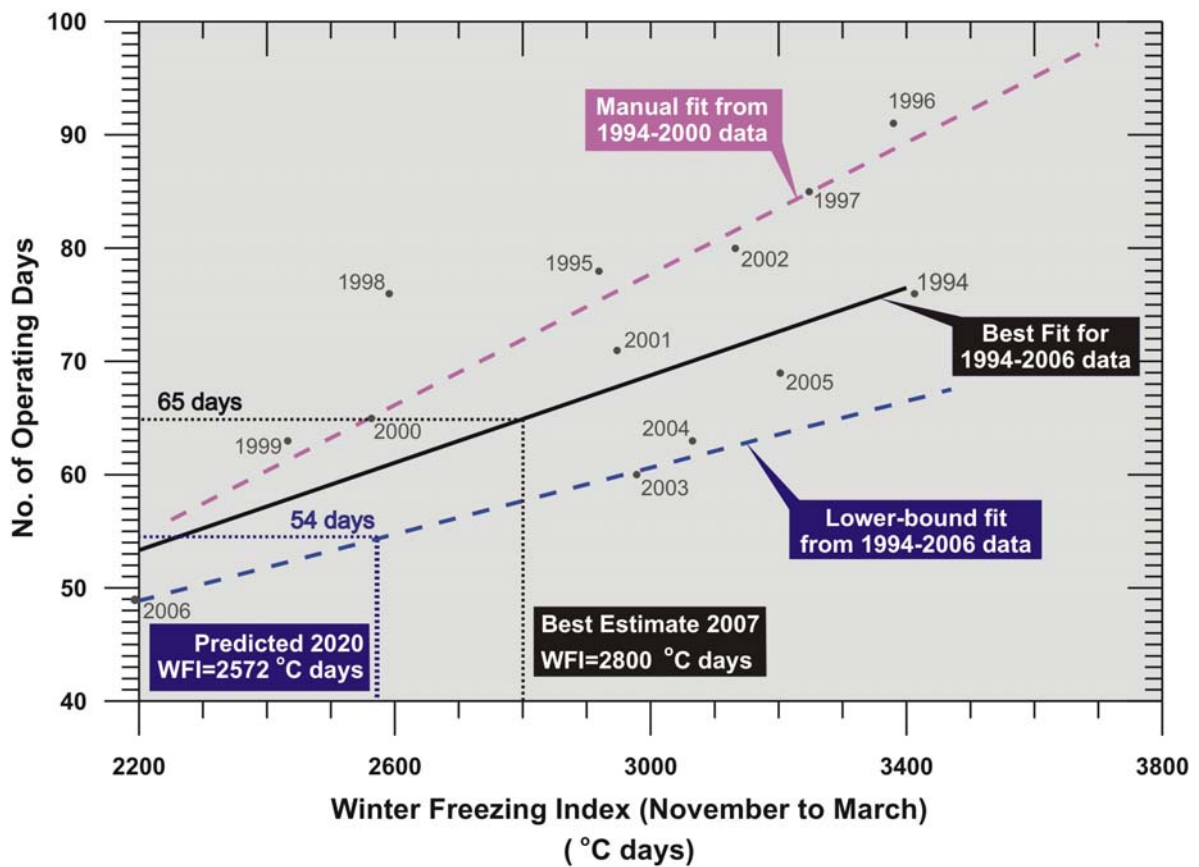


Figure 7 – Indice de gel corrélé avec la saison d'utilisation historique

Pour des mesures d'adaptation à court terme, il importe de prévoir un délai pour la conception, les études environnementales et l'obtention des permis, avant que la construction puisse commencer. Tout cela nécessite normalement une fenêtre de planification et de mise en œuvre de cinq ans. Les stratégies à court terme visent l'amélioration des opérations actuelles par :

- de meilleures techniques d'analyse des contraintes glacielles, pour que des charges plus lourdes puissent être admises sans que la sécurité soit compromise;
- de meilleures techniques, dont des systèmes radar évolués, pour évaluer la capacité portante de la glace et localiser les discontinuités;
- la gestion de la circulation, par l'aménagement de voies express pour séparer les camions chargés (à l'aller) des camions vides (au retour), ce qui permet d'assouplir les limites de vitesse pour les camions au retour (figure 8);
- l'aménagement d'itinéraires multiples sur les lacs dont on sait que la glace est instable, afin de pouvoir rediriger rapidement les véhicules en cas de détérioration de la glace;
- une meilleure surveillance des limites de vitesse, conjuguée à des campagnes de sensibilisation des conducteurs.



Figure 8 – Optimisation des voies pour une gestion efficace de la circulation

La stratégie d'adaptation à moyen terme qui a été adoptée consiste à construire, pour le tronçon sud, 156 km de route terrestre, en remplacement des 170 km actuellement aménagés sur de la glace de lac. La route résultante demeurera saisonnière parce que la moitié nord reposera toujours sur de la glace de lac. Selon ce plan, les routes de glace les plus au sud seraient à une latitude plus nordique, où il a été estimé, d'après les données sur l'épaisseur de la glace, que la saison d'activité actuelle pourrait être prolongée de 30 jours. Cela représenterait le premier pas vers une éventuelle route toutes saisons vers

le cœur de l'industrie de l'extraction des diamants au lac de Gras, dans le centre des Territoires du Nord-Ouest (figure 9).

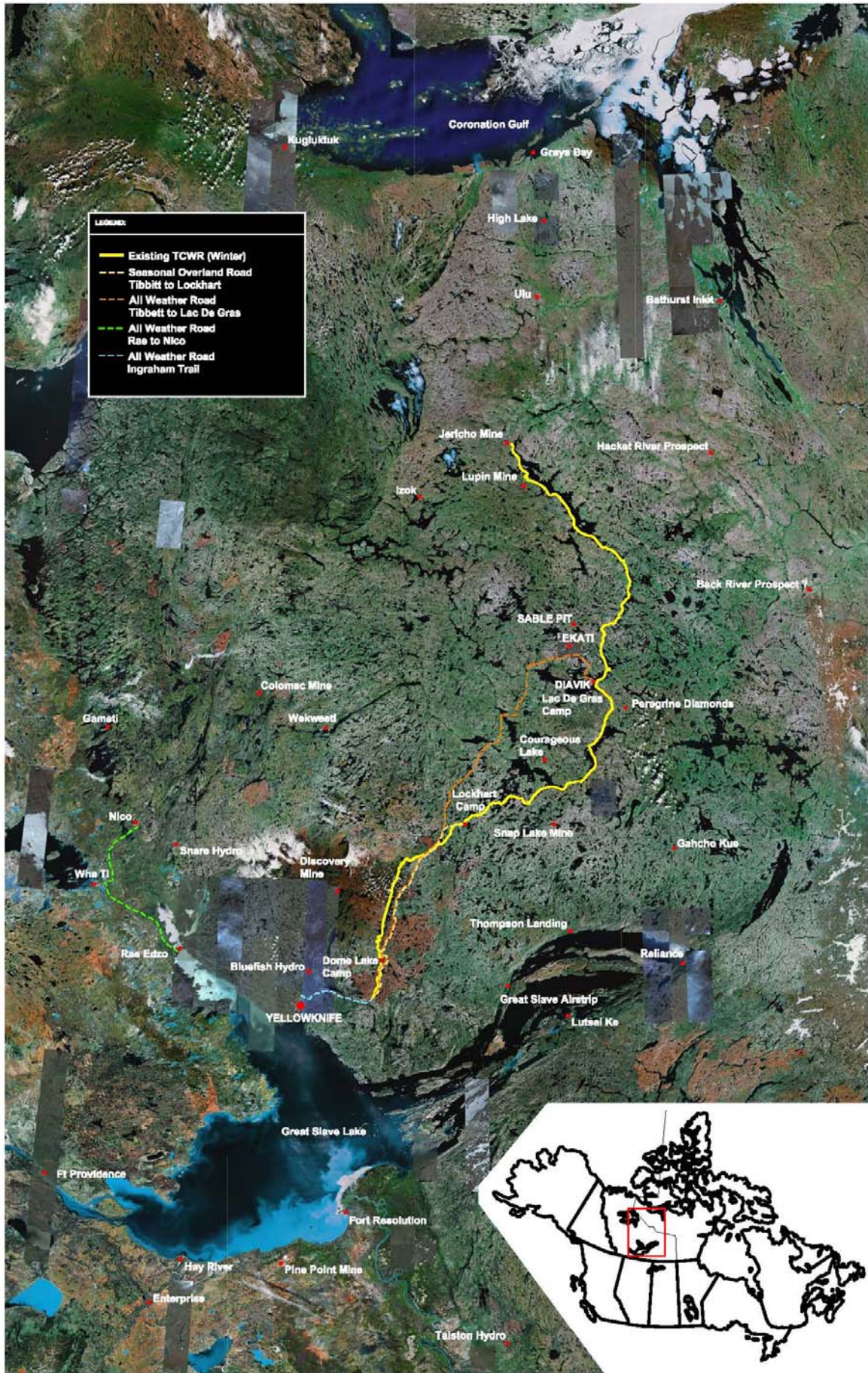


Figure 9 – Options de transport nord et sud

L'option à long terme qui est envisagée est une route de transport au sud de la côte arctique pour l'acheminement de carburant et de fournitures en vrac. Il s'agirait toujours d'une route d'hiver, mais qui traverserait la toundra arctique plutôt que des unités géomorphologiques de forêt boréale. On est à évaluer les deux possibilités, afin de déterminer laquelle permettrait de mieux gérer le risque futur de défaillance de l'axe de ravitaillement d'ici 20 ans. L'évaluation doit tenir compte non seulement de la faisabilité technique de chaque solution, mais aussi de l'acceptabilité des impacts environnemental et social sur la population locale, concernée au premier chef (figure 9).

#### **4. STRUCTURES ROUTIÈRES SUJETTES AUX RESTRICTIONS DE POIDS SAISONNIÈRES**

##### **4.1 Réseau routier de la région des prairies**

La région des Prairies comprend les provinces canadiennes du Manitoba, de la Saskatchewan et de l'Alberta, de même que le nord-est de la province de Colombie-Britannique et le sud des Territoires du Nord-Ouest et du territoire du Yukon. Au sud de la frontière entre le Canada et les États-Unis, les États du Minnesota, du Dakota du Nord et du Montana sont aussi considérés comme faisant partie de la région des Prairies. Le succès de l'économie de la région des Prairies est un facteur important du succès de l'économie du Canada dans son ensemble, et l'économie de la région des Prairies est tributaire d'une industrie du camionnage performante. Le réseau routier de la région des Prairies compte environ 75 000 kilomètres de routes provinciales (au Canada) et 53 000 kilomètres de routes inter-états et d'États (aux États-Unis) (13).

##### **4.2 Restrictions de poids saisonnières**

Le camionnage dans la région des Prairies est assujéti aux lois, règlements et politiques en vigueur dans chaque province/État/pays ou administration routière. Chaque réseau routier public est exploité en vertu d'un ensemble de règles de base qui définissent les poids et dimensions des véhicules commerciaux. Ces règles influent directement sur les types de camions admis sur les routes, de même que sur leurs caractéristiques d'exploitation (p. ex., charge par essieu), facteurs qui influent à leur tour sur la productivité (14). Outre les règles de base sur le poids des véhicules, des restrictions de poids saisonnières sont appliquées tout au long de l'année, à des degrés divers. Les restrictions de poids saisonnières servent à deux fins :

- permettre, en hiver, d'augmenter la productivité des camions et d'abaisser le coût de transport des produits lourds, du fait que le corps de chaussée et la fondation sont gelés et peuvent supporter de plus fortes charges (PNBV et charge par essieu);
- protéger l'infrastructure routière de l'endommagement pendant le période de dégel printanier, alors que le corps de chaussée et la fondation sont particulièrement affaiblis.

Pour atteindre ces deux objectifs, des restrictions de poids saisonnières sont appliquées sous les deux formes suivantes :

- les primes de poids hivernales (PPH) sont des augmentations des limites de poids de base (définies par les règles), qui sont appliquées pendant la période ou la

saison pendant laquelle le corps de chaussée et la fondation de la route sont présumément gelés;

- les restrictions de poids printanières (RPP) sont des diminutions des limites de poids de base (définies par les règles), qui sont appliquées pendant le dégel printanier alors que la structure de la route est affaiblie du fait que la couche supérieure a dégelé mais qu'elle conserve une forte proportion d'humidité, qui n'a pas pu s'échapper parce que la couche inférieure de la structure est encore gelée.

Il existe un large écart, dans la région des Prairies, entre les méthodes utilisées pour déterminer quand appliquer les restrictions de poids saisonnières, quelle valeur leur affecter, et sur quelles routes les appliquer. À certains endroits, l'entrée en vigueur des restrictions de poids saisonnières dépend des conditions réelles de gel/dégel de la structure routière, tandis qu'ailleurs, une date fixe est établie par règlement. Cette « absence d'harmonie » entre les réglementations influe sur l'efficacité de l'industrie du camionnage et, partant, sur l'économie. Même si l'harmonisation de ces règles n'est pas le sujet du présent article, il convient de noter que les adaptations présentées ci-dessous pour atténuer les impacts du changement climatique favoriseront l'harmonisation des règles à l'intérieur de la région des Prairies.

#### 4.3 Changement climatique et restrictions de poids saisonnières

On peut avoir l'impression que l'application de restrictions de poids saisonnières dans toute la région des Prairies est essentiellement temporaire et que cela a peu d'effet sur l'efficacité du camionnage, mais tel n'est pas le cas dans les faits. Les marchandises sont transportées par camion sur de grandes distances dans toute la région des Prairies et pendant une période de sept mois, une restriction de poids saisonnière est en vigueur sur un ou plusieurs tronçons de route. Une étude réalisée entre 1998 et 2000, qui consistait à surveiller l'application et la durée des restrictions de poids saisonnières dans toute la région des Prairies, a révélé que des PPH sont en vigueur dès le 1<sup>er</sup> décembre et que des RPP s'appliquent aussi tard que le 30 juin (14).

Toute fluctuation annuelle des températures moyennes de l'air, dans toute la région, aura un effet sur le réseau routier dont la capacité de portance est tributaire des effets du gel et du dégel. Les questions qui se posent alors sont les suivantes : « Quelle est l'importance de cet effet? » et « Cet effet est-il négatif ou positif? »

La question du changement climatique et de son effet sur les restrictions de poids saisonnières dans la région des Prairies a été l'objet d'une étude de Montufar et coll., en 2005 (15). L'étude a utilisé la modélisation pour étudier l'application, et le moment de l'application, de restrictions de poids saisonnières dans la région des Prairies, étant donné un scénario de changement climatique (température seulement) à court terme (25 ans). Elle a mené aux conclusions suivantes :

- Il est probable que l'hiver débutera plus tard et qu'il sera plus court. Là où les PPH sont appliquées en fonction de la profondeur réelle de gel de la structure de la route (plutôt que selon une date fixée par règlement), les activités de camionnage qui dépendent des PPH subiront un effet négatif. Par exemple, le transport de produits forestiers bruts se fait sur des routes de catégorie inférieure ou secondaire, car ce sont les seules routes qui permettent d'accéder à la source des ressources. Le transport à l'intérieur d'une période raccourcie de PPH, ou le transport de plus faibles charges pendant les autres périodes, réduira l'efficacité du transport et augmentera les coûts des produits. Là où les PPH sont appliquées selon une date



fixée par règlement, la structure de la route pourrait être endommagée au début de la période des PPH, car de lourdes charges seraient transportées sur une structure routière qui ne serait pas encore gelée.

- La durée du dégel printanier demeurera vraisemblablement la même; toutefois, celui-ci débutera et se terminera probablement plus tôt. Là où les RPP sont appliquées en fonction des conditions réelles, les changements toucheraient uniquement le moment de l'application des restrictions, et pour certains produits lourds (p. ex., engrais); la levée hâtive des restrictions pourrait avoir un effet positif sur l'économie locale. Là où l'application des RPP est fondée sur une date fixée par règlement, des dommages à la structure de la route pourraient survenir, car de lourdes charges seraient transportées sur une structure routière qui n'a pas fini de dégeler.

En résumé, une tendance à la hausse de la température moyenne annuelle de l'air dans la région des Prairies pourrait avoir un effet négatif sur le transport de marchandises qui dépend de PPH, sur des catégories de route inférieures. Certains effets positifs pourraient se faire sentir dans le transport de produits lourds si les limites de charge étaient levées plus tôt au printemps. De plus, il y aura vraisemblablement des effets négatifs sous la forme de dommages à la structure de la route, là où les restrictions de poids saisonnières sont appliquées à date fixe.

#### 4.4 Adaptations pour gérer efficacement l'effet des changements climatiques sur les restrictions de poids saisonnières

Il y a lieu de continuer à privilégier, dans la région des Prairies, des critères fondés sur l'état de la route plutôt que sur une date prédéterminée pour l'application des restrictions de poids saisonnières, de façon à tempérer les effets d'une tendance au changement climatique dans cette région. Ces dernières années, des applications technologiques évoluées ont été mises en place pour surveiller les conditions de gel/dégel dans la structure routière, même en régions éloignées, et on est à instaurer un système d'analyse en temps réel de la résistance de la chaussée dans ces conditions. À mesure que se poursuit la mise en œuvre de ces technologies dans la région des Prairies, il devient plus facile de déterminer les meilleurs moments pour appliquer, et lever, les restrictions de poids saisonnières, ce qui devrait minimiser les dommages à la structure routière.

Grâce aux nouvelles technologies, notamment les stations météo-route et les outils d'analyse connexes qui permettent de prévoir les conditions routières, et moyennant la communication rapide de ces données météo à l'industrie du camionnage, celle-ci pourra profiter au maximum des PPH, des itinéraires de rechange ou d'autres outils de planification avancée.

Une conception des routes améliorée, qui éliminerait la nécessité de restrictions de poids saisonnières sur certaines portions du réseau, peut aussi être profitable. Cela pourrait vouloir dire, par exemple, d'adopter des structures routières ou des chaussées renforcées, capables de tolérer des charges plus lourdes pendant les périodes critiques (c.-à-d., dégel printanier), ou de « déclasser » la surface de roulement des routes à faible volume de trafic en remplaçant un mince revêtement en dur par une surface en gravier, moins sujette aux dommages pendant les périodes de dégel printanier.

## 5.0 SOMMAIRE

Le succès de l'économie canadienne et notre capacité de maintenir un niveau de vie raisonnable dans les collectivités éloignées dépendent fortement d'un vaste réseau de routes, dont certaines sont saisonnières. Les corridors de commerce et de transport décrivent un axe est-ouest entre les provinces et les ports océaniques, et un axe nord-sud entre les territoires, les provinces, les États-Unis et le Mexique. En raison de nos latitudes nordiques, le réseau routier a dû être optimisé pour quatre saisons distinctes. Les hivers produisent de la neige, de la glace et du terrain gelé dont nous tirons parti pour étendre le réseau de transport. Dans les régions froides, une partie du réseau routier dépend du pergélisol, de la glace et du gel saisonnier du sol, et en subit les effets.

Les températures hivernales hors de l'ordinaire et la tendance au réchauffement que l'on observe maintenant partout dans le Nord du Canada influent sur la stabilité du pergélisol, le gel saisonnier du sol et l'intégrité des couches de glace utilisées pour le transport. Il en résulte ce qui suit :

- accroissement des coûts de construction et d'entretien des routes du Nord;
- difficulté de maintenir un niveau de service acceptable dans tout le réseau routier;
- nécessité d'exercer une vigilance accrue pour maintenir la sûreté du réseau routier;
- diminution de l'efficacité du transport, qui se reflète dans l'augmentation des coûts des biens et services, partout au Canada.

Les effets du changement climatique sur le système de transport routier ne peuvent être ignorés. Les effets évoqués dans le présent article découlent surtout d'observations effectuées au cours des cinq dernières années. Si le climat continue à se réchauffer au rythme dont témoignent les données historiques des collectivités nordiques, les effets décrits ci-dessus s'accroîtront. Nous devons revoir les paradigmes à la base de la conception technique de notre système de transport dans le Nord, et adopter des approches de conception fondées sur l'évaluation du risque, en considérant la variabilité climatique comme un des facteurs d'incertitude les moins bien compris.

## 6.0 RÉFÉRENCES

1. Hayley, D.W., (2005). Northern Transportation Infrastructure Construction and Operation Challenges, Northern Transportation Conference, Yellowknife. ([www.vanhorne.info/NT%20Conference%202005.htm](http://www.vanhorne.info/NT%20Conference%202005.htm))
2. LeBouthillier, S., (2005). Climate Change in the NWT-A Transportation Perspective, Northern Transportation Conference, Yellowknife. ([www.vanhorne.info/NT%20Conference%202005.htm](http://www.vanhorne.info/NT%20Conference%202005.htm))
3. Huculac, N.A., Twach, J.W., Thomson, R.S. and Cook, R.D., (1978) Development of The Dempster Highway North of The Arctic Circle, Proceedings, Third International Conference on Permafrost, Edmonton, Alberta, pp 799-805.
4. Hoeve, T.E., Seto, J.T.C., and Hayley, D.W., (2004). Permafrost Response Following Reconstruction of the Yellowknife Highway, Proceedings, Cold Regions Engineering and Construction Conference, Edmonton, Alberta.
5. Hayley, D.W., (1988). Maintenance Of A Railway Grade Over Permafrost In Canada, Proceedings, Fifth International Conference on Permafrost., Trondheim, Norway.
6. Zarling, J.P., and Braley, A.W., (1987). Thaw Stabilization of Roadway Embankments Constructed over Permafrost. Alaska Department of Transportation Report, FHWA-AK-RD-87-20.
7. Goering, D.J., (2003). Thermal Response of Air Convection Embankments to Ambient Temperature Fluctuations, Proceedings, Eighth International Conference on Permafrost, Zurich, Switzerland, pp 291-296.
8. Sigfusson, S. (1992), Sigfusson's Roads, Shillingford Publishing, ISBN 0-920489-58-4.

9. Iglauer, E., (1991). Denison's Ice Road, Harbour Publishing, ISBN 1-55017-041-4.
10. EBA Engineering Consultants Ltd., (2001). Tibbitt To Contwoyto Winter Road Project Description Report, Internal Report to Tibbitt to Contwoyto Winter Road Joint Venture.
11. Kuryk, D., (2005). Change and Effect on Seasonal Transportation to Remote Communities in Manitoba", Northern Transportation Conference, Yellowknife, ([www.vanhorne.info/NT%20Conference%202005.htm](http://www.vanhorne.info/NT%20Conference%202005.htm))
12. Hassan, M, and Hayley. D.W., (2007). An Overview of Strategic Transportation Options To Supplement The Tibbitt To Contwoyto Winter Road, EBA Engineering Consultants Ltd., Internal Report to Tibbitt to Contwoyto Winter Road Joint Venture.
13. Montufar, J. and McGregor, R. (2006). Using Intelligent Transportation Systems to Adapt to Potential Climate Change Impacts on Seasonal Truck Weight Limits, Conference on Climate Change Technology; Engineering Challenges and Solutions in the 21<sup>st</sup> Century, Ottawa, Ontario, Canada.
14. Clayton, A., Montufar, J., McGregor, R., Kai, H., Lew, K., Sims, R., and Palsat, D. (2000). Study for the Harmonization of Spring Weight Restrictions and Winter Weight Premiums for Roads in the Prairie Region (Task 1 Report), Transport Canada, Ottawa, Ontario, Canada.
15. Montufar, J., Clayton, A., Regehr, J., Isaacs., C., and McGregor, R., (2005). Aspects of the Potential Impacts of Climate Change on Seasonal Weight Limits and Trucking in the Prairie Region, Climate Change Impacts and Adaptation Directorate, Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, Canada.