



Dossier d'information sur le développement et la gestion des infrastructures de transport dans les régions du pergélisol

Le pergélisol couvre environ la moitié de la masse terrestre du Canada, et les réseaux de transport routier, ferroviaire et aérien du nord du pays dépendent de la solidité des sols du pergélisol. Le pergélisol, qui est composé de sols ou de rocs qui demeurent à 0°C ou à une température inférieure, constitue souvent une fondation très efficace, mais il est très sensible aux changements des conditions thermiques.

Les pratiques traditionnelles de planification, de conception, de construction et d'entretien ne conviennent pas toujours aux conditions du pergélisol et les changements climatiques rendent incertain le rendement prévu des réseaux. L'établissement d'un réseau de transport fiable dans le Nord est un facteur clé du maintien et de l'amélioration de la qualité de vie dans les collectivités canadiennes les plus vulnérables, mais ils protègent également nos intérêts en termes de sécurité nationale, notre souveraineté dans l'Arctique et le développement des riches ressources naturelles du Canada.

Grâce à la science, à l'ingénierie et à l'expérience, certaines leçons importantes ont été apprises sur le développement et la gestion des infrastructures de transport dans les régions du pergélisol. Ce dossier d'information indique les questions qui doivent être prises en considération et soulignent l'importance d'adopter de bonnes pratiques de développement, de planification, de conception, de construction et de restauration des installations de transport dans les régions du nord du Canada qui reposent sur le pergélisol.

Questions de planification et de financement

Les changements climatiques ont amplifié l'incertitude en ce qui concerne les pratiques établies d'ingénierie en région froide. Les infrastructures qui reposent sur les propriétés du pergélisol et de la glace

pour assurer leur stabilité à long terme doivent maintenant être aménagées en fonction d'une approche fondée sur les risques et de procédés de conception qui reconnaissent et rationalisent l'incertitude future découlant des conditions climatiques changeantes.

Il est aussi difficile de trouver un juste équilibre entre les coûts initiaux et le rendement puisque les mesures de rendement peuvent être compromises lorsque l'état du pergélisol est instable. Les infrastructures de transport des collectivités du Nord canadien ont une histoire complexe et ont été construites grâce à la collaboration entre les promoteurs qui ont construit les routes d'accès requises et le gouvernement fédéral qui a fourni les fonds requis pour la construction d'infrastructures terrestres et aériennes facilitant l'accès aux régions isolées. L'aménagement futur d'infrastructures de transport dans le Nord canadien sera guidé par les projets miniers et hydroélectriques, les attentes plus grandes des résidents du Nord qui voudront être reliés au réseau routier du sud du Canada et les enjeux de souveraineté et de défense nationale.

L'approche décisionnelle globale en ce qui concerne les infrastructures de transport dans les régions du pergélisol devrait être axée sur les objectifs suivants :

- optimiser l'utilisation des infrastructures routières, ferroviaires, aériennes et maritimes existantes;
- construire les nouvelles infrastructures minimales nécessaires;
- planifier l'aménagement d'installations à l'intention de plusieurs utilisateurs en assurant une coordination efficace entre tous les utilisateurs potentiels;
- utiliser des analyses de coûts du cycle de vie;
- assurer la transparence des coûts des projets financés par le gouvernement;
- assurer la participation d'ingénieurs ayant une grande expérience et compétence du pergélisol à toutes les étapes des projets.

L'établissement d'un équilibre entre les besoins en matière de transport et les scénarios opérationnels viables contribuera à définir les types d'infrastructures qui doivent être pris en considération dans chaque situation. Les résultats déjà obtenus indiquent que dans les régions du pergélisol, le coût élevé de construction des infrastructures de transport linéaires (routières, ferroviaires et bandes d'atterrissage), le niveau élevé des incidences environnementales et la vulnérabilité des infrastructures aux changements climatiques nécessitent, tôt pendant l'étape de planification, une évaluation des besoins et une analyse des scénarios opérationnels reposant sur des facteurs multiples, notamment sur les coûts de construction des immobilisations, le calendrier de construction, les coûts opérationnels, les conditions réglementaires et les incidences environnementales. Lorsqu'on planifie la construction d'une nouvelle route ou d'un nouveau corridor, on doit obtenir l'information nécessaire sur le climat, le terrain et autres conditions. Les paramètres de





conception, les coûts historiques et les principes d'ingénierie standards peuvent être combinés aux résultats des étapes initiales d'identification et d'évaluation de la route (site) pour produire les estimations de coûts de niveau budgétaire et les besoins en matière de financement.

En tenant systématiquement compte de la sensibilité de la route, du type d'infrastructure qui doit être aménagé et des dommages potentiels résultant des changements du régime du pergélisol, les planificateurs et concepteurs peuvent incorporer des mesures d'atténuation ou d'adaptation dans leur conception et leurs interventions futures, ou du moins ils peuvent comprendre les incidences en matière de risques et de coûts si ces mesures ne sont pas incorporées. La planification doit également tenir compte d'une approche systématique d'optimisation des coûts à toutes les étapes du projet par la planification du cycle de vie complet, y compris pour l'entretien, la restauration et l'abandon à la fin de la durée d'utilisation.

Étude des routes dans les régions du pergélisol

La conception et la construction des infrastructures de transport dans les régions du pergélisol nécessitent l'évaluation approfondie du terrain reposant sur le pergélisol le long du corridor de transport proposé. La réussite du projet de construction routière dans les régions froides dépend grandement de la qualité de l'information géotechnique disponible.

L'approche d'étude des routes devrait d'abord se pencher sur l'information générale facilement accessible pour finalement porter sur des essais détaillés spécialisés et la caractérisation des sols. L'étude devrait fournir les réponses à deux questions principales :

- Quel est le risque que les travaux de construction ou de restauration prévus puissent entraîner la dégradation du pergélisol?
- Quelle est la conséquence de la dégradation du pergélisol en termes de gravité et de durée?



De l'équipement de qualité et des équipes expérimentées sont nécessaires pour collecter des données géophysiques. De plus, un expert très compétent est requis pour interpréter l'information obtenue grâce aux enquêtes géophysiques réalisées dans des zones du pergélisol. Il est possible d'améliorer l'information obtenue et de réduire les risques courus en combinant les résultats géophysiques de plusieurs techniques qui peuvent souvent être utilisées sous réserve d'un coût différentiel peu élevé. Il est extrêmement avantageux pour tous les projets en régions du pergélisol de dépenser des sommes additionnelles pour améliorer le programme d'enquête géotechnique avant et pendant la construction puisqu'une telle mesure améliore la qualité des produits, réduit les risques pendant la construction et réduit les coûts à long terme. L'enquête géotechnique peut aussi être avantageuse pour le maintien des infrastructures de transport existantes.

Matériaux de remblais et de revêtement de chaussée

Dans les régions du pergélisol, on doit choisir les matériaux appropriés pour les constructions de remblais et de revêtement de chaussée, puisque les projets requièrent habituellement plus de matériaux de remplissage – une ressource non renouvelable. Il est important de trouver un matériau granulaire de qualité suffisante et en quantité suffisante, puis de planifier son utilisation de manière durable pour réduire les coûts et minimiser l'empreinte écologique des travaux. Les lignes directrices et politiques environnementales locales doivent être respectées et les intervenants locaux doivent être consultés.

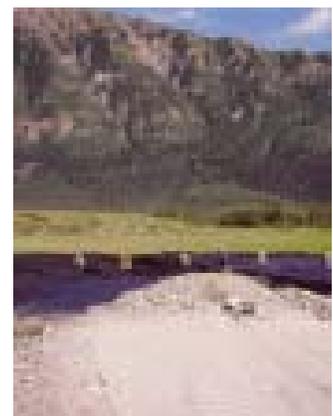
Il est donc grandement pratique et approprié d'utiliser les sites d'emprunt existants lorsque de tels sites sont disponibles et lorsque cela est possible. Au besoin, des cartes topographiques et géologiques, ainsi que des photographies aériennes et un sondage manuel en superficie, peuvent faciliter l'identification de nouveaux sites potentiels. La pertinence des sites peut être confirmée à l'aide d'excavatrices électriques et de tarières de forage, mais l'équipement lourd mécanique ne devrait être utilisé que tard à l'automne ou pendant l'hiver lorsque le sol est gelé, à la condition que le site soit accessible, afin de faciliter la mobilité et de minimiser les dommages au sol. Il est important de souligner que des problèmes peuvent survenir sur le plan de la logistique de construction et que les coûts de construction peuvent augmenter si on ne se fie qu'à l'enquête géotechnique préliminaire des sources potentielles de remplissage/gravier. Afin de minimiser l'impact visuel et environnemental des activités sur les sites d'emprunt, il est habituellement préférable d'aménager un petit nombre de grands sites qu'un grand nombre de petits sites, même si cela entraîne des distances plus grandes de transport par camion.

Les nouvelles gravières et carrières peuvent nécessiter l'élaboration d'un plan de développement de gravière propre au site et qui comprend un plan individualisé de développement et de mise en valeur du site d'emprunt. Ce plan doit aussi prévoir que le spécialiste des transports aura à sa disposition un outil lui permettant d'assurer la gestion efficace de la source à long terme. On doit également minimiser l'empreinte écologique du site tout en apportant une attention spéciale aux impacts des activités sur le pergélisol, sur tous les plans d'eau et cours d'eau, ainsi que sur tout autre secteur sensible sur le plan environnemental. La mise en valeur du site pour minimiser l'impact à long terme de l'extraction du matériau est également essentielle.

Facteurs liés à l'ingénierie

Les facteurs liés à l'ingénierie en ce qui concerne les travaux dans les régions du pergélisol sont importants, que ce soit aux étapes de planification, de conception, de construction, d'entretien ou de restauration d'installations de transport. Les objectifs des principes directeurs dans ce domaine comprennent les mesures suivantes :

- étudier les précédents dans la région;
- comprendre la nature du pergélisol;



- comprendre d'abord le régime thermique, puis les incidences mécaniques;
- préparer les critères de conception généralement acceptés.

La première étape consiste à évaluer le niveau de risque associé à la construction dans les conditions propres au pergélisol, y compris le type de sol et le contenu en glace du sol, et de tenir compte de la probabilité et de la gravité de dégradation du pergélisol qui pourrait découler de la construction et du changement climatique. Dans cette étape, on doit également tenir compte des conséquences connexes sur le rendement des installations de transport et de la dégradation de l'environnement avoisinant.

Tout changement des conditions du sol résultant de la modification de la surface, de travaux de terrassement ou de remblais entraînera inévitablement un changement du régime thermique du sol. Des conditions de sol plus froides offriront probablement une meilleure stabilité pour les fondations de remblais. Des conditions plus chaudes entraîneront une dégradation du pergélisol et une diminution du rendement des installations de transport. Pour assurer des travaux d'ingénierie adéquats sur le pergélisol, on doit posséder une bonne compréhension des changements potentiels et pouvoir en assurer le contrôle.

En matière de conception de remblais sur le pergélisol, le principe de base consiste à protéger l'intégrité de la base structurelle des remblais. Pour ce faire, on doit préserver la surface et éviter les coupures dans les sols sensibles au dégel. Les coupures dans le pergélisol, ainsi que le décapage ou l'essouchement, qui sont effectuées pour retirer la couche végétative, peuvent favoriser le dégel non voulu et entraîner le tassement de remblais.

Des accotements larges et des pentes de talus douces assureront une configuration globale plus large pour les remblais, ce qui empêchera le tassement de la base structurelle, atténuera l'impact du dégel et contribuera à réduire l'accumulation de neige. Sur le pergélisol, il est recommandé de mener des activités qui permettent l'amélioration de la stabilité des pentes ou du moins d'éviter les activités de conception et de construction qui favorisent l'instabilité.

Lorsqu'on conçoit une structure qui exige une grande fiabilité dans des régions très sensibles du pergélisol, la stabilisation thermique à l'aide de techniques de protection spéciales peut être requise. Il faut donc penser à utiliser des techniques qui réduisent l'absorption de chaleur par les remblais pendant l'été et qui permettent l'extraction de la chaleur pendant l'hiver, des techniques de renforcement des remblais, ou ces deux types de techniques.

Drainage et contrôle de l'érosion

Le drainage et le contrôle de l'érosion sont des facteurs extrêmement importants de la conception des routes, en particulier dans les régions nordiques du pergélisol. De mauvaises conditions de drainage le long



d'une route aménagée sur le pergélisol peuvent entraîner l'accumulation des eaux de surface, l'érosion thermique, le thermokarst ou la formation de glace. Ces incidences peuvent causer de graves problèmes en matière d'environnement et de circulation et entraîner une hausse des coûts d'entretien. Il est possible d'éviter ou du moins d'atténuer de nombreux problèmes de drainage associés aux nouvelles routes construites sur le pergélisol en choisissant attentivement le trajet de la route et en planifiant l'alignement de sorte à minimiser le nombre de cours d'eau qui doivent être traversés.

Sur les sols riches en glace, il est important de bien comprendre l'hydrologie de l'écoulement des eaux de courant et de surface pour toutes les saisons de sorte que les structures de travée et de fondation des ponts soient conçues de manière appropriée. Idéalement, les ponts devraient être placés sur les canaux étroits et droits, sur des sols à fond rocheux ou à grain grossier, faibles en glace et ne favorisant pas le tassement.

Les ponceaux aménagés dans les régions du pergélisol requièrent un entretien constant et ne devraient être utilisés que lorsqu'ils sont absolument essentiels. Lorsqu'il est nécessaire d'installer des ponceaux à large diamètre, il est recommandé d'utiliser des ponceaux rivetés ou boulonnés et de penser à installer de l'isolant en polystyrène sous le matériel de mise en lit du ponceau sur les côtés inférieurs et en pente de l'excavation.

Les efforts de contrôle de l'érosion devraient reposer sur les codes d'érosion des sols et cibler la minimisation des changements subis par les modèles de drainage existants. Outre la sélection adéquate des structures de contrôle de l'érosion pour un projet de construction routière en particulier, des pratiques de construction écologiques devraient également être utilisées pour minimiser l'érosion potentielle.

Construction

La construction dans les régions du pergélisol requiert de la planification et l'utilisation de techniques qui sont uniques et différentes de celles utilisées dans les autres régions. Il est important d'élaborer un plan logistique efficace comprenant le transport, l'organisation, le développement de la gravière et de la carrière, l'utilisation de l'équipement et d'autres éléments. L'exécution de travaux de construction en hiver ou en été peut avoir un impact important sur la manière dont les problèmes associés au pergélisol sont gérés.

Les projets de construction effectués sur le pergélisol sont souvent situés sur un terrain sensible recouvert par la toundra et qui peut facilement être endommagé par le simple déplacement de l'équipement. Les activités de construction peuvent causer des dommages à l'environnement. Il est donc essentiel de minimiser « l'empreinte » de la construction et de mettre en place un plan de gestion environnementale pour composer avec des problèmes comme la sensibilité de la toundra, la qualité de l'air et le bruit, le terrain et la végétation, la faune, les pêches





et les ressources aquatiques, la gestion des déchets et la gestion du carburant et de l'huile.

La conception des projets dans les régions du pergélisol devrait tenir compte des bonnes pratiques de préservation à long terme du pergélisol. Les entrepreneurs devraient savoir qu'il est essentiel de préserver le pergélisol et la couche d'isolation organique dans toutes les zones secondaires de leurs activités de construction. De plus, il est très important de maintenir les modèles de drainage existants pour la préservation du pergélisol.

Dans les régions du pergélisol, on doit souvent faire face à des conditions non prévisibles pendant la construction. Afin d'éviter toute reconstruction coûteuse à une date ultérieure, on doit pouvoir reconnaître ces conditions et être prêts à adapter les plans de conception pendant la construction.

Entretien

La préservation de l'investissement initial dans une infrastructure de transport requiert un entretien régulier et important au niveau local. Bien que ce principe s'applique aux infrastructures de transport de toutes les régions, il est d'autant plus pertinent dans les zones de pergélisol où, par exemple, la formation de flaques d'eau peut rapidement entraîner la défaillance du système si le problème n'est pas réglé.

L'entretien régulier s'entend des activités quotidiennes ou fréquentes qui sont exécutées dans le but premier d'entretenir les conditions de surface et les dispositifs de contrôle de la circulation de l'installation. Prenons l'exemple des rondes d'entretien, celles-ci sont particulièrement importantes lorsque les infrastructures sont construites en zones de pergélisol instables en raison du dégel puisque l'affaissement de la surface de la route peut se produire rapidement lorsque survient la fonte massive de glace dans le sol de fondation. De même, l'enlèvement de la neige constitue une partie essentielle de l'entretien régulier, non seulement pour que la route soit sécuritaire, mais aussi pour minimiser l'effet isolant de la neige.

L'entretien majeur s'entend des activités planifiées et saisonnières qui sont exécutées pour entretenir les conditions de surface et les dispositifs de contrôle de la circulation, ainsi que pour permettre la préservation de l'investissement. Les activités de remise en état sont requises lorsqu'une défaillance survient et que le problème ne peut pas être facilement réglé par l'entretien régulier ou majeur. Les activités d'entretien doivent couvrir tous les aspects de l'infrastructure, y compris en maintenant le fonctionnement de toutes les composantes du système de drainage selon la capacité prévue ou voulue.

Les défaillances de surface, y compris les fissures dans les surfaces de gravier, pourraient être les conséquences ou les symptômes de problèmes plus importants. Il est donc important de bien comprendre et de confirmer les problèmes fondamentaux par des observations visuelles, des mesures de la capacité portante et des balayages par géoradar. Une



fois les causes définies, on doit faire preuve de jugement pour déterminer si les activités d'entretien régulier suffiront à régler le problème ou si des activités de remise en état sont requises. Lorsqu'on comprend bien les causes fondamentales des défaillances de surface, on peut prendre la décision d'exécuter des activités de remise en état avant qu'un événement catastrophique ne survienne.

Technologies émergentes

Plusieurs concepts prometteurs de développement d'infrastructures de transport en zones de pergélisol font actuellement l'objet de recherche, notamment les concepts suivants :

- l'extraction de la chaleur par convection de l'air dans les remblais sur le pergélisol, ce qui comprend le refroidissement des remblais dans le but de maintenir ou de refroidir le sol gelé;
- l'extraction de la chaleur à l'aide de « thermosiphons en forme de V » (refroidissement passif) dans les remblais. Cette technologie est coûteuse à utiliser; elle ne convient donc probablement pas à une application à grande échelle, mais elle peut constituer une option efficace pour la stabilisation d'un site en particulier;
- l'accumulation de neige sur les pentes de talus peut entraîner la dégradation du pergélisol; les chercheurs ont conçu un drain de chaleur pour faciliter l'extraction de la chaleur des remblais pendant l'hiver. Cette méthode est relativement facile à mettre en place;
- la technologie du géoradar peut également être utilisée pour déterminer les conditions souterraines de la base géodésique pour les routes de gravier récemment construites dans les régions du pergélisol comme première étape des programmes de surveillance du rendement;
- les mesures de profil (rugosité et orniérage de la route) sont utilisées avec succès pour détecter et caractériser les problèmes liés au gel. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une technologie émergente, les mesures de profil prises par des véhicules profileurs de plus en plus perfectionnés deviendront probablement des outils efficaces pour les problèmes liés au pergélisol sur les routes pavées;
- la mise en place d'isolant sur le pergélisol pour atténuer le dégel a démontré son efficacité. Moussé sur place, l'isolant de polyuréthane peut s'avérer une solution rentable en matière d'installation et d'expédition, à l'isolant en panneaux rigides;
- dans certains cas, la stabilisation du sol a été utilisée pour réduire l'action du gel dans les sols souterrains. Les techniques de stabilisation peuvent représenter la seule solution lorsque des matériaux granulaires ou de carrière ne sont pas à portée de main. Même dans des environnements sablonneux, la géofibre et les fluides synthétiques se sont avérés efficaces pour stabiliser des sols marginaux;

- puisque la recherche a démontré qu'une surface pavée ayant un albédo élevé (rayonnement réfléchi par une surface) minimise le transfert de chaleur à la couche inférieure sous-jacente, on a donc entrepris des travaux pour concevoir une chaussée durable de couleur pâle qui sera utilisée sur le pergélisol;
- on pourrait également utiliser des produits de béton cellulaire léger pour assurer la protection thermique des sols sensibles au soulèvement par le gel sous les routes ainsi que la protection thermique du pergélisol.

Renseignements détaillés

Les renseignements de ce dossier d'information sont tirés de la publication de l'Association des transports du Canada intitulée *Guidelines for Development and Management of Transportation Infrastructure in Permafrost Regions*. Cette publication présente un compendium des bonnes pratiques d'élaboration, de planification, de conception, de construction, de gestion, d'entretien et de remise en état des installations de transport dans les régions nordiques canadiennes situées sur le pergélisol. Ce guide se veut un document pratique et facile à lire pour tous les intervenants qui participent directement à l'un ou l'autre des aspects du cycle de vie des infrastructures dans le nord du Canada.

Avis de non-responsabilité

Tous les efforts possibles ont été menés pour faire en sorte que tous les renseignements fournis dans ce dossier d'information soient exacts et à jour. L'Association des transports du Canada n'assume aucune responsabilité en ce qui concerne les erreurs et les omissions. Ce document ne reflète ni la position technique ni les politiques de l'ATC.

Association des transports du Canada
2323, boul. St-Laurent, Ottawa (ON) K1G 4J8
Tél. (613) 736-1350 ~ Téléc. (613) 736-1395
www.tac-atc.ca