

REMERCIEMENTS

Les *Lignes directrices relatives à la construction et à l'exploitation des routes d'hiver* ont été développés grâce au financement fourni par de nombreuses agences. L'ATC tient à remercier chaleureusement les partenaires suivants pour leur contribution à ce projet :

Transports Canada

Le ministère des Transports de l'Alberta

Infrastructure et Transports Manitoba

Le ministère des Transports des Territoires du Nord-Ouest

Le ministère des Transports de l'Ontario

Le ministère des Transports du Québec

Le ministère de la Voirie et de l'Infrastructure de la Saskatchewan

Le ministère de la Voirie et des Travaux publics du Yukon

COMITÉ DIRECTEUR DU PROJET

Le présent rapport a été élaboré sous la supervision d'un Comité directeur de projet composé de membres bénévoles. La participation des membres de ce comité tout au long du projet est fort appréciée.

Larry Halayko, président
Infrastructure et Transports Manitoba

Maude Boucher
Ministère des Transports du Québec

William Gish
Ministère des Transports de l'Alberta

Bill Stanley
Ministère de la Voirie et des Travaux publics du Yukon

Adnan Aamir
Ministère des Transports des Territoires du Nord-Ouest

Ron Gerbrandt
Ministère de la Voirie et de l'Infrastructure de la Saskatchewan

Paul Lebrun
Transports Canada

Finlay Buchanan
Ministère des Transports de l'Ontario

Sandra Majkic
Gestionnaire de programme de l'ATC

Martin Rochon
Gestionnaire de projets de l'ATC

GLOSSAIRE

| | |
|---|--|
| Compactage | Accroissement de la densité de la neige à l'aide de moyens mécaniques |
| Glace ancrée sur le fond | Glace qui se forme à la surface d'une étendue d'eau et qui atteint le (ou s'étend jusqu'au) fond |
| Route d'hiver industrielle pour machinerie lourde | Route d'hiver industrielle qui permet de transporter une charge utile de plus de 50 000 tonnes pendant une saison d'hiver |
| Véhicule lourd | Véhicule à roues de plus de 6 essieux et d'une M.T.C. supérieure à 46 500 kg |
| Pont de glace | Passage glacé aménagé sur une rivière ou sur un cours d'eau à des fins de transport |
| Couverture de glace | Glace flottante qui forme une surface continue sur une rivière, un lac, un étang ou une tourbière |
| Traverse de glace | Partie d'une couverture de glace utilisée pour le transport |
| Route de glace | Route saisonnière aménagée sur des lacs ou des rivières gelés et qui sert au transport; consiste généralement en de la glace flottante ou de la glace ancrée sur le fond |
| Route d'hiver industrielle | Route d'hiver aménagée par un exploitant privé et utilisée pour le transport de carburant, de ravitaillements et de matériaux routiers vers un site industriel |
| Véhicule léger | Tout véhicule dont la M.T.C. est inférieure à 5000 kg |
| Véhicule moyen | Véhicule à roues de moins de 6 essieux et d'une M.T.C. inférieure à 46 500 kg |
| Tourbière | Sol organique dont le contenu en eau est très élevé ou dont la nappe phréatique est située à la surface; de la glace flottante peut s'y former |
| Route d'hiver sur terre | Route saisonnière construite avec de la neige ou de la glace sur de la terre |
| Route d'hiver sur glace | Route saisonnière aménagée sur de la glace flottante |
| Route d'hiver publique | Route d'hiver aménagée et exploitée par une autorité gouvernementale dans le but de desservir une communauté isolée |
| Route d'hiver privée | Route d'hiver aménagée et exploitée qui pour l'usage exclusif d'un particulier, d'un groupe ou d'une entreprise |
| Route sur glace de mer | Route saisonnière aménagée sur de la glace de mer à des fins de transport |
| Véhicule très lourd | Véhicule à roues de plus de 8 essieux et d'une M.T.C. supérieure à 63 500 kg |
| Route d'hiver | Route saisonnière aménagée sur des sections de glace (flottante ou ancrée) et/ou sur terre (portages) |
| Sentier d'hiver | Voie ou piste utilisée par des véhicules à faible pression au sol pendant une saison seulement |

| | |
|--|-----------|
| CHAPITRE 3 – CLASSIFICATION DES ROUTES D'HIVER | 21 |
| 3.0 CONTEXTE | 21 |
| 3.1 Routes d'hiver sur terre | 23 |
| 3.1.1 Routes de neige compactée sur terre (y compris celles faites de neige fabriquée) (C1) | 23 |
| 3.1.2 Routes de neige recouvertes de glace sur terre (C2) | 24 |
| 3.1.3 Routes de glace sur terre (y compris les routes faites d'agrégats de glace) (C3) | 25 |
| 3.1.4 Routes sur glace (C4) | 26 |
| CHAPITRE 4 – PLANIFICATION DES ROUTES D'HIVER | 29 |
| 4.0 PROCESSUS DE LA PLANIFICATION | 29 |
| 4.1 Définition des exigences de la route | 30 |
| 4.1.1 Calendrier et période d'exploitation | 30 |
| 4.1.2 Type et volume de circulation | 31 |
| 4.1.3 Emprise de la route | 31 |
| 4.1.4 Considérations en matière de réglementations/permis | 32 |
| 4.2 Développement des options de tracé routier | 33 |
| 4.2.1 Options de tracés routiers sur terre | 33 |
| 4.2.2 Options de tracés routiers sur glace | 35 |
| 4.2.3 Sources d'information | 37 |
| 4.3 Analyse du climat | 37 |
| 4.3.1 Températures et précipitations de neige | 37 |
| 4.3.2 État de la glace | 38 |
| 4.3.3 Changements climatiques | 39 |
| 4.4 Développement d'options de routes d'hiver | 41 |
| CHAPITRE 5 – CONCEPTION DES ROUTES SUR TERRE | 45 |
| 5.0 CONTEXTE | 45 |
| 5.1 Conception de la route | 46 |
| 5.1.1 Conception basée sur le sol de fondation | 47 |
| 5.1.2 Conception de la structure de surface de la route | 50 |
| 5.1.3 Recommandations sur l'évaluation de la capacité de charge | 53 |
| 5.1.4 Géométrie de la route | 55 |
| 5.2 Leçons tirées de l'alaska | 55 |
| CHAPITRE 6 – INGÉNIERIE DES ROUTES SUR GLACE | 59 |
| 6.0 INTRODUCTION | 59 |
| 6.1 Limitations | 59 |
| 6.2 Gestion du risque pour les véhicules circulant sur de la glace flottante | 60 |
| 6.3 Considérations en matière de planification | 61 |
| 6.3.1 Choix du tracé routier sur les lacs, les étangs et les rivières | 61 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 6.3.2 | Caractéristiques des véhicules | 61 |
| 6.4 | Couvertures de glace d'eau douce | 62 |
| 6.4.1 | Types et solidité de la glace | 62 |
| 6.4.2 | Fissures dans la glace | 65 |
| 6.5 | Conception des routes de glace | 68 |
| 6.5.1 | Évaluation de l'épaisseur de la glace (conception basée sur la capacité limite de la glace) | 68 |
| 6.5.2 | Épaisseur de glace réelle | 70 |
| 6.5.3 | Effets des changements de température sur la glace | 72 |
| 6.5.4 | Conception des routes de glace et critères de conception (conception basée sur la contrainte limite de la glace) | 73 |
| 6.6 | Gestion du risque pendant la construction et l'exploitation | 77 |
| 6.6.1 | Contrôles de surveillance | 77 |
| 6.6.2 | Entretien | 78 |
| 6.6.3 | Administration | 79 |
| CHAPITRE 7 – CONSTRUCTION DES ROUTES SUR TERRE | | 83 |
| 7.0 | CONTEXTE | 83 |
| 7.1 | Préparation de l'emprise | 83 |
| 7.1.1 | Nouvelle emprise | 84 |
| 7.1.2 | Emprise existante | 85 |
| 7.2 | Routes de neige compactée (C1A, C1B ET C1C) | 85 |
| 7.2.1 | Routes de neige légèrement à moyennement compactée (C1A) | 85 |
| 7.2.2 | Routes de neige moyennement à fortement compactée (C1B, C1C) | 86 |
| 7.2.3 | Neige traitée | 87 |
| 7.3 | ROUTES DE NEIGE RECOUVERTES DE GLACE (C2A et C2B) | 87 |
| 7.4 | ROUTES DE GLACE SUR TERRE (C3) | 88 |
| 7.4.1 | Routes d'agrégats de glace | 89 |
| CHAPITRE 8 – CONSTRUCTION DES ROUTES SUR GLACE | | 91 |
| 8.0 | GÉNÉRALITÉS | 91 |
| 8.1 | Reconnaissance initiale de la route de glace | 92 |
| 8.2 | Déneigement et gestion de la neige | 93 |
| 8.3 | Méthodes de construction sur glace | 95 |
| 8.3.1 | Crêtes de pression | 96 |
| 8.4 | AQ/CQ – Surveillance et entretien | 98 |
| 8.4.1 | Contrôle de la qualité durant la construction | 99 |
| 8.4.2 | Contrôle de la qualité durant l'exploitation | 100 |
| 8.4.3 | Entretien | 102 |
| 8.5 | Fermetures de route | 103 |

| | |
|--|------------|
| CHAPITRE 9 – EXPLOITATION DES ROUTES D'HIVER | 105 |
| 9.0 Concepts généraux | 105 |
| 9.1 Routes d'hiver pour véhicules légers | 107 |
| 9.2 Routes industrielles pour véhicules lourds | 108 |
| CHAPITRE 10 – LA SÉCURITÉ DES USAGERS | 111 |
| 10.0 INTRODUCTION | 111 |
| 10.1 Notion d'évaluation, d'élimination et de contrôle des aléas | 112 |
| 10.1.1 Sécurité des travailleurs | 115 |
| 10.1.2 Sécurité des conducteurs commerciaux | 115 |
| 10.1.3 Sécurité du public | 116 |
| 10.2 PLAN DE RÉPONSE AUX INCIDENTS | 116 |
| CHAPITRE 11 – PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT | 119 |
| 11.0 Réglementations environnementales | 119 |
| 11.1 Protection des étendues d'eau | 120 |
| 11.2 Protection du terrain | 121 |
| 11.3 Fermeture de la route et enlèvement du matériel | 122 |
| 11.4 Prévention et confinement des déversements | 122 |
| ANNEXE A - Comparaison des guides canadiens sur les travaux sur les glaces flottantes | 125 |
| ANNEXE B - Guide de mesures de l'épaisseur de la glace | 131 |

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.0 CONTEXTE

Les routes d'hiver jouent un rôle important dans la desserte des communautés isolées des territoires et des régions nordiques des provinces canadiennes, qui n'ont pas accès à des routes tous temps. De plus, le développement de projets d'exploitation des ressources dans le Nord canadien dépend fortement de ce type de routes. Les coûts élevés reliés à la construction de routes toutes saisons sur de longues distances nuisent aux efforts d'exploration ou les retardent. Les routes d'hiver fournissent un moyen très efficace et rentable de transporter de l'équipement et des marchandises vers les régions éloignées et hors de celles-ci. Les activités de forage par exemple, peuvent être complétées en quelques mois alors que le sol est gelé et que les étendues d'eau sont couvertes d'une couche de glace adéquate pour supporter les opérations.

La route d'hiver saisonnière qui relie Tibbitt à Contwoyto (TCWR) est un exemple de route d'hiver bien établie qui constitue, depuis plus de 10 ans, la seule voie d'approvisionnement de l'industrie de l'extraction des diamants dans les T.N.-O./Nunavut. Cette route est longue de 600 km, et sa forte circulation saisonnière a atteint jusqu'à 11 000 passages de camions chargés vers le nord en 2007. Au fil des ans, l'expérience et les données recueillies ont permis d'améliorer l'efficacité et la sécurité de la TCWR (Hayley & Proskin 2008). Elle représente une route d'hiver construite pour un usage industriel spécifique. Le fait d'élaborer sur ce type de route d'hiver en particulier déborde du champ d'application de ces lignes directrices. Toutefois, l'expérience acquise avec la TCWR ressortira ici et là tout au long du présent document.

L'utilisation efficace et la durée d'une route d'hiver dépendent d'un certain nombre de facteurs, les plus importants étant les conditions météorologiques (la température de l'air et les précipitations de neige), l'état de la surface et l'utilisation requise de la route.

Une route d'hiver se définit comme une route saisonnière aménagée à l'aide de neige ou de glace, sur terre et/ou sur glace, à des fins de transport. Les différences entre ces deux composantes d'une route d'hiver sont présentées tout au long de ce rapport. Les chapitres 5 et 7 traitent de détails spécifiques à l'ingénierie et à la construction de routes sur terre. Les chapitres 6 et 8 couvrent quant à eux les mêmes aspects, mais pour les routes sur glace.

APERÇU

- Rôle des routes d'hiver dans le Nord canadien
- Définition des routes d'hiver
- Nécessité de gérer le risque associé à la glace flottante
- Importance de la gestion de la neige
- Relation entre la supervision et la sécurité
- Comment utiliser les lignes directrices
- À qui s'adresse les lignes directrices

Commune à ces deux types de routes, la question de la gestion de la neige doit être prise en compte dans presque tous les projets de routes d'hiver. Il est probable que les coûts liés à la gestion de la neige excèdent les coûts de construction d'une route d'hiver.

La portion terrestre des routes d'hiver dépend du sol initial gelé (sol de fondation) qui doit demeurer fonctionnel pendant tout un hiver. Le gel pénètre la surface du sol et fournit une couche de sol de fondation stable par-dessus la couche active du sol mou initial. Le sol de fondation est recouvert d'une structure semblable à une chaussée, constituée d'une couche de neige ou d'une couche de neige et de glace artificielle. Les routes terrestres faites de neige compactée sont généralement conçues pour supporter des véhicules moyens à légers. Ces types de routes suivent traditionnellement les routes terrestres dégagées et les lacs et les rivières où la surface de glace est rarement déneigée. La capacité d'une route faite de neige compactée peut être accrue considérablement en arrosant la neige d'eau, construisant ainsi une route terrestre recouverte de glace (voir section 3.2.2). L'eau est transportée par camion jusqu'à la route et est déversée sur la couche de neige, formant ainsi une surface de glace solide. L'épaisseur de la couche de glace dépend de l'ampleur et de la fréquence des charges qui sont transportées sur cette route et de la configuration des véhicules (la pression de contact entre les pneus et la surface de la route). Des routes recouvertes de glace ont été construites en Alaska et entre Tibbitt et Contwoyto pour transporter des charges semblables à celles transportées sur les autoroutes.

Du point de vue de la conception, une route d'hiver aménagée sur terre se caractérise par une structure multicouche reposant sur une fondation élastique. Le défi consiste à déterminer la capacité de cette structure dont les matériaux ont des propriétés qui varient.

Pendant des siècles, les passages de glace ont été beaucoup utilisés dans les régions froides pour transporter du personnel et de l'équipement sur les lacs (routes de glace) et les rivières (ponts de glace) pendant les mois d'hiver. La glace est un matériau de construction économique qui peut être moulé dans la forme souhaitée. Les structures de glace, qui sont construites et exploitées correctement, ne laissent aucune empreinte écologique.

Les routes de glace sont faites généralement de glace flottante qui supporte la charge des véhicules grâce à la flottabilité et à la résistance à la flexion de la glace. Dans les secteurs où l'eau est peu profonde, la glace peut s'étendre éventuellement sur toute la profondeur de l'eau, créant ainsi de la glace ancrée au fond. Ce type de glace a une capacité portante accrue en raison du sol de fondation qui supporte la couche de glace qui le recouvre. Pour calculer la capacité portante de la glace ancrée au fond, il faut connaître le module du sol de fondation, ce qui dépasse du champ d'application de ces lignes directrices.

Avec l'arrivée du printemps, la période d'exploitation des routes d'hiver est habituellement déterminée par la détérioration de la portion terrestre et de la transition du sol vers une glace avec une surface plus sombre que la route sur glace. Qui plus est, les planificateurs de routes d'hiver doivent tenir compte des effets du réchauffement climatique lorsqu'ils évaluent le temps requis pour construire et pour entretenir/exploiter une route d'hiver (Hayley & Proskin, 2008). Ceci est particulièrement vrai pour la construction de routes sur glace, où la glace naturelle doit être épaissie pour en accroître la capacité portante. Le taux d'épaississement de la glace est contrôlé principalement par les températures ambiantes et par la méthode de construction (voir section 8.5).

La plupart des routes d'hiver nécessitent la manipulation de la neige. Dans le cas des routes sur terre, la neige peut être utilisée comme matériau de construction pour couvrir et pour protéger le sol gelé. Une fois la route construite, la neige soufflée par le vent doit être enlevée et entassée sur les côtés, formant ainsi des bermes. On doit s'efforcer de construire les bermes de neige de manière à ce que l'accumulation de neige sur la route soit réduite au minimum.

Un processus de déneigement bien géré constitue une part importante des procédés de construction des routes de glace. Le déneigement précoce favorise la formation de glace, réduit les coûts de construction et accroît la période d'exploitation. Le déneigement précoce représente également le plus grand risque de rupture éventuelle. L'une des principales différences entre les routes de glace flottante et les routes sur terre tient au risque de rupture. Ce risque doit être géré tout au long du projet de route d'hiver. La réduction du risque de rupture et l'accroissement de la sécurité sur la glace peuvent être assurés par une supervision telle que décrite au chapitre 6.

1.1 CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Des températures frôlant le point de congélation pendant une période prolongée constituent un facteur climatique essentiel dans la formation d'une couverture de glace sur les lacs et les rivières et dans le gel des terrains mous et humides des tourbières. Dans le cas des routes d'hiver, les vents dominants, l'accumulation de neige et un rayonnement solaire réduit (heures d'ensoleillement réduites) constituent des facteurs climatiques secondaires qui influent sur le développement des conditions de sol et de glace. Tel que mentionné au chapitre 4, les températures hivernales à l'échelle nationale indiquent une tendance au réchauffement depuis 1948 et à des précipitations de neige réduites depuis 1977. Ces tendances climatiques influent non seulement sur les changements à long terme de la température et des précipitations de neige, mais aussi sur les extrêmes de températures enregistrés pendant les hivers chauds. La température moyenne hivernale au Canada, enregistrée en 2009-2010, a battu le record de chaleur atteint en 2005-2006 (selon Environnement Canada 2010).

Les routes d'hiver récurrentes sont vulnérables à ces deux tendances à long terme au chapitre des changements climatiques. Hayley et Proskin (2008) ont noté les effets des récentes tendances au réchauffement climatique sur la réduction de la période d'exploitation de la TCWR. Les routes d'hiver construites pour une saison seulement sont également plus vulnérables aux hivers plus chauds qu'aux hivers au climat moyen en raison des changements climatiques et de l'impossibilité de compenser les pertes l'année suivante.

Ces lignes directrices traiteront des stratégies d'adaptation disponibles pour contrer les impacts actuels et prévus des changements climatiques. La discussion commence au chapitre 4 et se poursuit aux chapitres 5 et 6, sous Ingénierie des routes d'hiver.

1.2 OBJECTIF

Les lignes directrices ont pour objectif principal de fournir aux concepteurs de routes d'hiver un outil de planification qui leur permettra de formuler des recommandations relatives à la construction et à l'exploitation de ce type de routes. Le but poursuivi est que le présent Guide devienne un document de référence pour la conception, la construction et l'exploitation des routes d'hiver au Canada.

Les lignes directrices qu'il contient peuvent être utilisées pour élaborer des manuels qui seront adaptés à un emplacement géographique en particulier, à ses conditions/changements climatiques et aux exigences opérationnelles.

Ce document couvre également d'autres sujets pertinents tels que :

- le besoin de gérer le risque de rupture dans le cas des couvertures de glace flottante
- la relation entre la surveillance et la sécurité, et entre la surveillance et l'optimisation de l'utilisation des couvertures de glace, et
- l'importance d'inclure la gestion de la neige dans la planification des routes d'hiver.

Les deux premiers points portent sur la sécurité sur la glace, qui devrait être considérée comme l'élément le plus important de tout projet de route de glace. Entre 1991 et 2000, près de 500 personnes ont perdu la vie au Canada alors qu'elles traversaient une couverture de glace flottante ou qu'elles y travaillaient (Société canadienne de la Croix-Rouge 2006).

1.3 COMMENT UTILISER LES LIGNES DIRECTRICES

L'organigramme présenté à la Figure 1.1 fournit un aperçu de la séquence de développement type d'une route d'hiver. Connaissant les exigences de transport et opérationnelles d'un projet, l'on se doit d'évaluer le nombre d'options possibles pour déterminer le tracé le plus efficace et le plus économique de la route. En terrain inconnu, on peut avoir recours à l'interprétation de photographies aériennes, puis à des vols de repérage pendant l'été et à une étude du terrain l'hiver. Le chapitre 4 traite de la planification des routes d'hiver.

Une route d'hiver comprend habituellement une portion sur terre et une portion sur glace. Le planificateur doit décider de choisir entre un tracé routier sur terre et un tracé routier sur glace. Chaque type de route présente des avantages et des inconvénients. La Figure 1.1 peut faciliter l'identification du type de route à utiliser pour chaque portion de la route d'hiver. Cet organigramme renvoie à divers chapitres qui à leur tour fournissent une description détaillée de chaque sujet.

Chaque route d'hiver est unique et dépend d'un certain nombre de paramètres, notamment des exigences opérationnelles. Par exemple, une route de neige compactée sur un sol gelé peut fournir un support suffisant à la circulation de motoneiges ou de véhicules légers à quatre roues. Avec l'augmentation des charges et de la circulation routière, la qualité de la surface de roulement peut devoir être améliorée en compactant la neige ou en la recouvrant d'une couche de glace, ce qui entraîne plus d'équipement et une hausse des coûts de construction. Il peut être plus économique de réorienter la portion terrestre sur la glace. L'entretien et la gestion de la neige sont deux des quelques aspects communs que possèdent ces deux types de routes.

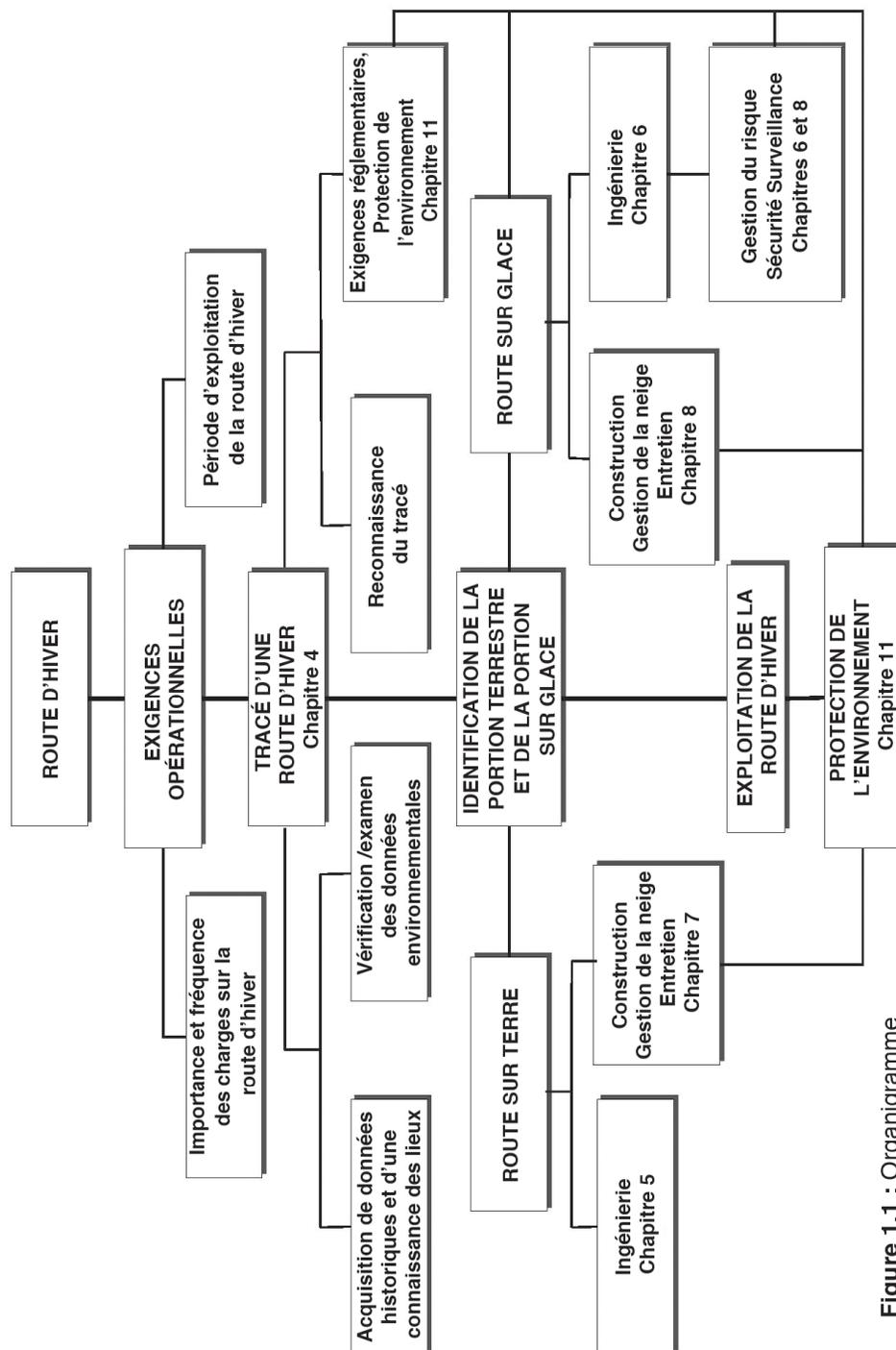


Figure 1.1 : Organigramme des routes d'hiver

Il importe de tenir compte, dans le processus de planification, des différences entre une route d'hiver sur terre et une route d'hiver sur glace (chapitre 3). Le risque de rupture de la glace flottante constitue la principale différence et peut entraîner des pertes catastrophiques. Malheureusement, des accidents liés à la glace surviennent au Canada chaque année, entraînant des pertes de vie et/ou d'équipements dues à l'ignorance ou au manque de prudence dans l'application d'une gestion du risque appropriée. Il en résulte que cette publicité négative et le risque associé à la réputation de la glace flottante, font souvent hésiter les planificateurs à accroître les charges dans leur planification du transport.

La gestion du risque ainsi que la relation entre la sécurité et la surveillance constituent un élément important de l'exploitation de toute route de glace (voir chapitres 6 et 8). Une surveillance adéquate des couvertures de glace flottante accroît la sécurité sur la glace et fournit la base nécessaire pour une utilisation plus efficace de la route de glace.

À mesure que les lecteurs comprennent mieux ce que sont les routes d'hiver et avec les changements climatiques et les modifications aux réglementations éventuels, ils doivent consulter les lignes directrices locales de même que l'état actuel des pratiques en matière de conception, de construction et d'exploitation des routes d'hiver.

1.4 À QUI S'ADRESSE LES LIGNES DIRECTRICES

Le présent document a été élaboré d'après de l'information à jour et l'expérience recueillies par des experts du domaine de la planification, de la construction et de l'exploitation des routes d'hiver. Ce document peut être considéré par les gestionnaires comme la référence nationale et peut être utilisé pour préparer des lignes directrices propres à chaque juridiction.

Le personnel technique qualifié qui occupe des postes de gestionnaire au sein des ministères des transports provinciaux ou territoriaux sont les plus susceptibles d'utiliser ce Guide. Une formation technique est requise pour suivre certains concepts de capacité portante de la glace décrits aux chapitres 5 et 6. Une liste de références figure à la fin de chaque chapitre.

Les ministères des transports, avec leurs lois et réglementations propres, peuvent également utiliser ce Guide pour développer leurs propres lignes directrices destinées à leur personnel des transports pour la planification, la construction et l'exploitation sécuritaires des routes d'hiver.

CE CHAPITRE EN BREF

- Explication de l'importance des routes d'hiver dans le Nord canadien.
- Aperçu des différences entre la portion sur terre et la portion sur glace d'une route d'hiver.
- Explication de l'importance de la gestion de la neige sur les routes d'hiver.
- Présentation de l'objectif des lignes directrices; mise en relief de l'aspect sécurité.
- Organigramme qui fournit à l'utilisateur une orientation et un aperçu des lignes directrices.
- Identification des gestionnaires des différents ministères des transports comme des utilisateurs potentiels des lignes directrices

RÉFÉRENCES

Environnement Canada 2010. Bulletin des tendances et les variations climatiques — Hiver 2009/10. Consulté le 30 juin 2010.

Gold, L.W., 1971. *Use of ice covers for transportation*. Revue canadienne de géotechnique, Vol. 8, pp. 170-181.

Government of Alberta. 2009. *Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta*. Publication No. SH010.

Government of Northwest Territories, Department of Transportation, 2007. *A Field Guide to Ice Construction Safety*.

Hayley, D.W. et Proskin, S.A. 2008. *Managing the Safety of Ice Covers Used for Transportation in an Environment of Climate Warming*. 4^e Conférence canadienne sur les géorisques, Québec (Québec).

Tibbitt to Contwoyto Winter Road Joint Venture, December 2009. *2010 Winter road regulations and rules of the road*. Guidelines issued by Diavik Diamond Mines Inc., BHP Billiton Diamonds Inc., and DeBeers Canada Inc.

Westergaard, H.M., 1947. *New formulas for stresses in concrete pavements of airfield*. Transaction, ASCE 687-701, May 1947.

CHAPITRE 2

DÉVELOPPEMENT DES ROUTES D'HIVER AU CANADA

2.0 CONTEXTE

Les routes d'hiver destinées au transport terrestre sont définies comme des routes saisonnières sur terre ou sur glace, faites de neige, de glace ou d'un mélange des deux, qui demeurent fonctionnelles pendant un hiver et qui doivent être reconstruites chaque année. Elles sont utilisées pour relier les régions nordiques isolées des provinces et des territoires canadiens depuis les années 40 (Sigfusson 1992, Iglauer 1975). Au Canada, les Territoires du Nord-Ouest de même que les provinces dotées de vastes régions sauvages nordiques continuent d'utiliser les routes d'hiver pour relier les communautés isolées et les réapprovisionner. Ces réseaux routiers suivent généralement des rivières dégagées, dotées de vallées de basses-terres, et des lacs où la glace flottante fournit une surface lisse et pratique pour les véhicules sur pneus.

APERÇU

- Contexte
- Historique
- Routes d'hiver sur glace
- Routes d'hiver sur terre
- Guides provinciaux et territoriaux sur les routes d'hiver
- Guides sur l'environnement et l'aménagement du territoire
- Références

La conception et la construction des routes d'hiver ont évolué depuis les deux dernières décennies afin de répondre aux besoins particuliers de l'industrie canadienne de mise en valeur des ressources. De nouveaux défis sont ainsi apparus quant à la planification et aux opérations relatives à une fréquence de trafic accrue, à des charges plus lourdes sur la glace flottante, à l'utilisation de véhicules à caractère non routier à essieux multiples et à la pression exercée pour maximiser, pendant une période d'incertitude climatique, la période d'exploitation sans toutefois compromettre la sécurité.

Le présent chapitre a pour objectif de résumer les principaux documents techniques et guides des diverses juridictions qui ont permis l'élaboration de pratiques de construction et d'exploitation des routes d'hiver au Canada.

2.1 ÉVOLUTION HISTORIQUE

Des pionniers tels que Svein Sigfusson au Manitoba dans les années 40 et John Denison dans les Territoires du Nord-Ouest dans les années 60 ont démontré que les routes de glace constituaient un moyen économique et pratique de transporter des marchandises, du carburant et de l'équipement vers des sites éloignés tels que les camps de travail et les collectivités nordiques.

Au Canada, les routes d'hiver publiques sont généralement construites le long de corridors établis sur les terres de la Couronne fédérale. La plupart des routes d'hiver et des voies d'hiver donnant accès aux communautés sont classées comme routes récurrentes permanentes à long terme, qui sont construites d'année en année le long d'emprises établies, surtout pour desservir les communautés nordiques. Ces emprises sont ensuite améliorées par des coupes d'arbres, et dans certains cas, un nivellement localisé de la surface ou un remblayage peuvent être entrepris suivant des contrôles environnementaux stricts qui tiennent compte du caractère à long terme de la route en particulier, tel que stipulé dans les Permis d'aménagement du territoire.

La plupart des routes industrielles privées sont construites comme routes pour une seule saison (à court terme) et doivent respecter les exigences strictes des permis. La plupart des routes d'hiver construites pour l'exploration du Nord et pour des projets de développement sont des routes aménagées pour une saison seulement ou à court terme. Certaines routes d'hiver industrielles telles que celle qui relie Tibbitt à Contwoyto (TCWR), qui s'étend des Territoires du Nord-Ouest au Nunavut, sont des routes récurrentes à long terme qui desservent les projets d'exploitation de mines dans le Nord canadien.

2.1.1 Adam, K.M. 1978 – Construction et exploitation de routes d'hiver au Canada et en Alaska

Dans les années 70, Ken Adam a préparé, à partir de documents existants et de pratiques établies (Adam, 1978), un sommaire des techniques utilisées pour construire et exploiter des routes d'hiver au Canada et en Alaska. Même si le manuel a plus de 30 ans, il continue de servir de référence commune pour la construction de routes d'hiver au Canada.

Le système de classification des routes mis au point par Adam repose sur les méthodes de construction (voir Tableau 2-1). Adam définit une route d'hiver comme tout type de route faite de neige, de glace ou d'un mélange de sol minéral, de neige ou de glace, qui demeure fonctionnelle pendant un hiver seulement. Il suggère que les routes d'hiver soient classées comme suit : sentiers d'hiver, routes de neige et routes de glace.

Les sentiers d'hiver (voir Figure 2-1) constituent la catégorie de route la plus basse; ils peuvent être temporaires, établis pour un hiver seulement (lignes sismiques) ou pour toute l'année – soit aménagés pour être utilisés pendant plusieurs hivers le long de nouvelles emprises ou d'emprises existantes (par exemple, les routes d'hivers le long de l'autoroute Mackenzie, T. N.-O.). La neige est surtout dégagée sur les routes d'hiver construites annuellement, le long d'emprises établies afin d'aménager une surface de roulement sur le sol gelé.

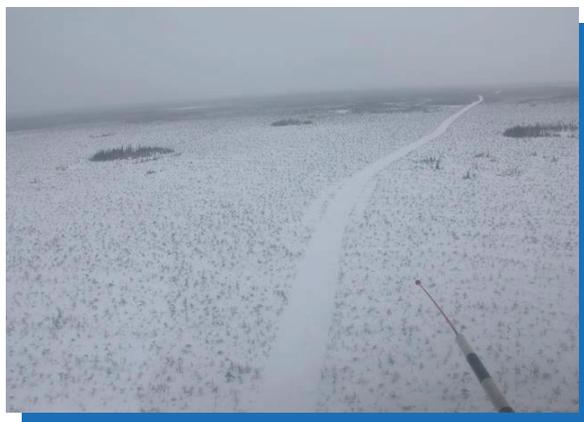


FIGURE 2-1 : Sentier d'hiver aménagé sur une tourbière dans le nord de l'Ontario

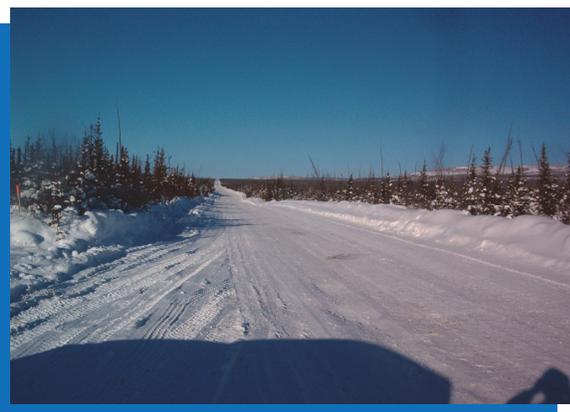


FIGURE 2-2 : Route de neige compactée dans les Territoires du Nord-Ouest



FIGURE 2-3 : Route de neige recouverte de glace dans les Territoires du Nord-Ouest

Les routes de neige constituent quant à elles une catégorie de route intermédiaire qui offre plus de protection au sol et au couvert végétal (voir Figure 2-2), et où la neige est utilisée pour préparer la surface de roulement. De l'eau peut être pulvérisée sur la neige compactée dans le but de produire une surface recouverte de glace, qui sera plus résistante et plus durable (voir Figure 2-3).

Les routes de glace aménagées sur des lacs ou des rivières gelés, ou les routes de glace ferme sur terre qui fournissent une surface résistante et lisse pour se déplacer à haute vitesse (voir Figure 2-4) constituent la catégorie de route la plus élevée selon Adam. Ce dernier précise clairement que les sols minéraux ne doivent pas être utilisés pour construire des routes d'hiver dans les zones à pergélisol.

Le classement des routes de neige ou de glace selon leur méthode de construction et les matériaux utilisés constitue certes une approche logique, mais n'offre pas de détails sur la capacité portante des surfaces de roulement. Il faut avoir recours à d'autres moyens pour déterminer quel type de surface de roulement est requis pour supporter une camionnette ou une citerne de carburant à train double de type B de 63,500 kg.



FIGURE 2-4 : Route de glace dans les Territoires du Nord-Ouest

TABLEAU 2-1 : Classement historique des routes d'hiver

| Type | Description |
|------------------------------------|--|
| Sentiers d'hiver | |
| Sentier d'hiver temporaire | Sentier aménagé pour un hiver seulement, par une passe unique d'un véhicule muni d'une lame afin d'en faciliter l'accès au besoin. Les lignes sismiques s'inscrivent généralement dans cette catégorie. Les sentiers temporaires, tels que définis par Adam (1978), ne sont pas acceptables dans les zones à pergélisol s'ils sont susceptibles d'endommager le couvert végétal. |
| Sentiers d'hiver permanent | Sentier aménagé pour plusieurs hivers, le long de nouvelles emprises ou d'emprises existantes |
| Routes de neige | |
| Route de neige compactée | Route construite essentiellement avec de la neige compactée par déblais-remblais en vue d'établir un semblant de terrassement construit. Le compactage se fait à l'aide de tracteurs chenillés, de traîneurs niveleurs ou de tout autre équipement approprié. |
| Route de neige traitée | De construction semblable à celle de la route de neige compactée, sauf que la neige est agitée ou traitée afin de réduire la taille des particules avant le compactage. |
| Route de neige recouverte de glace | Route de neige compactée ou traitée sur laquelle de l'eau a été pulvérisée afin de lier les particules de neige entre elles et d'accroître la stabilité de la chaussée. |
| Route de neige artificielle | Route de neige compactée construite à l'aide de neige artificielle ou fabriquée, transportée et déversée progressivement sur place ou fabriquée sur le site. La route est façonnée et compactée par des tracteurs chenillés. |
| Routes de glace | |
| Route de glace ferme | Route construite en aspergeant, en pulvérisant ou en arrosant directement d'eau le sol afin de combler les dépressions et de produire une surface de glace d'une épaisseur adéquate pour supporter la circulation. |
| Route d'agrégats de glace | Route faite de glace concassée (agrégats de glace) transportée et déversée progressivement sur place. La route est aspergée, pulvérisée ou arrosée d'eau pour lier les particules. |
| Route de glace flottante | Route aménagée sur la surface des lacs ou des rivières glacées. Ce type de routes est très utilisé dans certaines régions du pays, sa surface étant naturellement lisse, aucune coupe d'arbres étant nécessaire et la préparation globale de la route étant réduite au minimum. |

Adapté du classement des routes d'hiver d'Adam, K.M. (1978)

2.2 ROUTES D'HIVER SUR GLACE

2.2.1 Gold 1971. *Use of Floating Ice Covers for Transportation (Utilisation de couvertures de glace flottante pour le transport)*

En 1971, Lorne Gold, ph.d., publiait un article mémorable sur une approche rationnelle servant à évaluer les charges admissibles devant être transportées sur les couvertures de glace flottante. Il a réalisé un sondage auprès d'installations de sociétés papetières, situées dans le nord de l'Ontario, qui ont eu recours aux couvertures de glace flottante pour transporter des marchandises et du matériel. Il a découvert que la masse admissible des véhicules était proportionnel au carré de l'épaisseur de glace. L'équation simplifiée qu'il a développée est maintenant utilisée partout au Canada :

$$P = Ah^2$$

Où :

P est la masse admissible du véhicule (kg)

A est un paramètre qui reflète la résistance critique de la couche de glace et la répartition de la charge (kg/cm²)

h est l'épaisseur de la couche de glace (cm)

Gold a calibré l'équation à l'aide des résultats du sondage réalisé auprès des papetières pour déterminer les passages réussis et non réussis sur les couvertures de glace. Depuis la publication de son ouvrage, l'équation de Gold est devenue l'approche standard pour évaluer la capacité portante de la glace pour les charges mobiles. La principale difficulté réside dans le choix de la valeur A appropriée pour une gamme d'opérations. Le choix des valeurs A est traité plus en détail au chapitre 6.

2.3 ROUTES D'HIVER SUR TERRE

2.3.1 Johnson, P.R., et Collins, C.M. 1980 – *Snow Pads Used for Pipeline Construction in Alaska* (Utilisation de remblais de neige pour la construction d'un pipeline en Alaska)

L'*Alyeska Pipeline Service Company* a élaboré un système de classification de la performance fondé sur le type de véhicules devant emprunter les chaussées de neige (Johnson & Collins 1980). Les caractéristiques requises de la surface de roulement (chaussée) sont exprimées en termes de densité de la neige, et la méthode de construction pour atteindre la densité requise pour chaque type de chaussée y est décrite (voir Figure 2-5). Les méthodes de construction proposées se limitent à diverses techniques de compactage de la neige et à l'ajout d'eau. Au bout du compte, les capacités portantes requises ne sont atteintes qu'en ajoutant de l'eau pour former une chaussée liée par la glace; peu importe l'effort de compactage ou le traitement, on ne peut obtenir de densités de neige supérieures à 0.6 g/cm³ sans l'ajout d'eau.

| <i>Type</i> | <i>Utilisation</i> | <i>Épaisseur de neige minimale à la densité</i> | <i>Méthode de construction</i> |
|-------------|---|--|---|
| I | À faible pression au sol Rolligons Nodwells Tracteurs chenillés Motoneiges Camions 4RM avec larges pneus | 3 po à 32 lb/pi ³ (0,51 g/cm ³) | Après le regel de la couche active à 1 pi et l'accumulation de 6 po de neige à 18 lb/pi ³ , la construction peut débuter. Les Rolligons et les Nodwells ne requerront aucune préparation des sentiers, à l'exception du déneigement. L'utilisation périodique d'un traîneau niveleur ou d'un rouleau compresseur accroîtra la vitesse de déplacement des Nodwells et des Rolligons, comblera les ornières et créera une surface adaptée à la circulation occasionnelle de camions 4RM dotés de larges pneus. |
| II | Équipement léger Camionnettes Camions légers avec une charge par essieu inférieure à 8000 lb | 3 po à 38 lb/pi ³ (0,61 g/cm ³) | Même traitement que celui décrit ci-dessus, avec en plus 8 passes de tracteurs chenillés avec traîneaux niveleurs ou de rouleaux vibrants après une semaine de frittage à 15°F, ou 2 passes de traîneaux niveleurs ou de rouleaux vibrants après 2 semaines de durcissement par vieillissement de la neige à 15°F, ou 2 passes de tracteurs chenillés avec traîneaux niveleurs ou de rouleaux vibrants en plus d'ajouter de l'eau et de laisser regeler à des fins d'utilisation immédiate. |
| III | Camions lourds avec une charge par essieu pouvant atteindre 20 000 lb | 6 po à 44 lb/pi ³ (0,70 g/cm ³) | Même traitement que celui décrit ci-dessus, plus une accumulation supplémentaire de neige de 6 po. Un compactage additionnel est requis jusqu'à ce que la limite supérieure de densité soit atteinte, ou l'ajout d'eau jusqu'à ce qu'un battage de 600-1000 soit atteint. |
| IV | Construction concentrée Camions avec une charge par essieu supérieure à 20 000 lb Virage verrouillé des véhicules chenillés | 12 pi à 50 lb/pi ³ (0,80 g/cm ³) | Même traitement que celui décrit ci-dessus, plus une accumulation supplémentaire de neige de 1 pi et l'ajout d'eau pour saturer la couche supérieure de neige sur 1 pi. |
| V | Construction sur pente raide Pentes longitudinales excédant 15 % sur des distances supérieures à 200 pi Pentes transversales excédant 5 % | | Conception spéciale requise |

FIGURE 2-5 : Classification des routes de neige selon les types de véhicules utilisés (d'après Johnson & Collins 1980)

2.3.2 Abele, G. 1990 – *Snow Roads and Runways (Routes et pistes d'atterrissage de neige)*

Abele propose que les chaussées de neige soient classées selon leur capacité portante sous les contraintes. Il a décrit une classification globale des chaussées de neige, qui tient compte de deux approches : les matériaux et les méthodes de construction utilisées pour la chaussée, et la résistance ou la capacité portante de celle-ci.

Les principaux types de routes de neige sont classés en trois groupes selon leurs méthodes de construction de base :

- Les routes compactées (dont le compactage a été réalisé à l'aide de rouleaux, de traîneaux niveleurs, de véhicules à chenilles ou à roues, etc.);
- Les routes traitées (dont le traitement a été réalisé à l'aide d'un chasse-neige à fraise ou d'une tritureuse pour désagréger et densifier la neige avant son compactage final); et
- Les routes renforcées de glace (de l'eau est pulvérisée ou créée par l'application de chaleur pendant ou après le traitement ou le compactage).

La Figure 2-6 (d'après Abele 1990) présente une classification des chaussées de neige selon les pressions de contact de la charge par roue. Le système de classification des chaussées, à droite de la Figure, est purement arbitraire, allant de « résistance très basse » à « résistance très élevée » et couvrant ainsi une gamme de pressions de contact au sol cent fois plus grandes. Les méthodes de construction requises pour atteindre la résistance de la chaussée souhaitée varient selon les conditions météorologiques, l'épaisseur du manteau neigeux, les caractéristiques du sol de fondation, le temps disponible pour le durcissement par vieillissement, le type et la fréquence du trafic ainsi que les pressions de contact et les charges prévues.

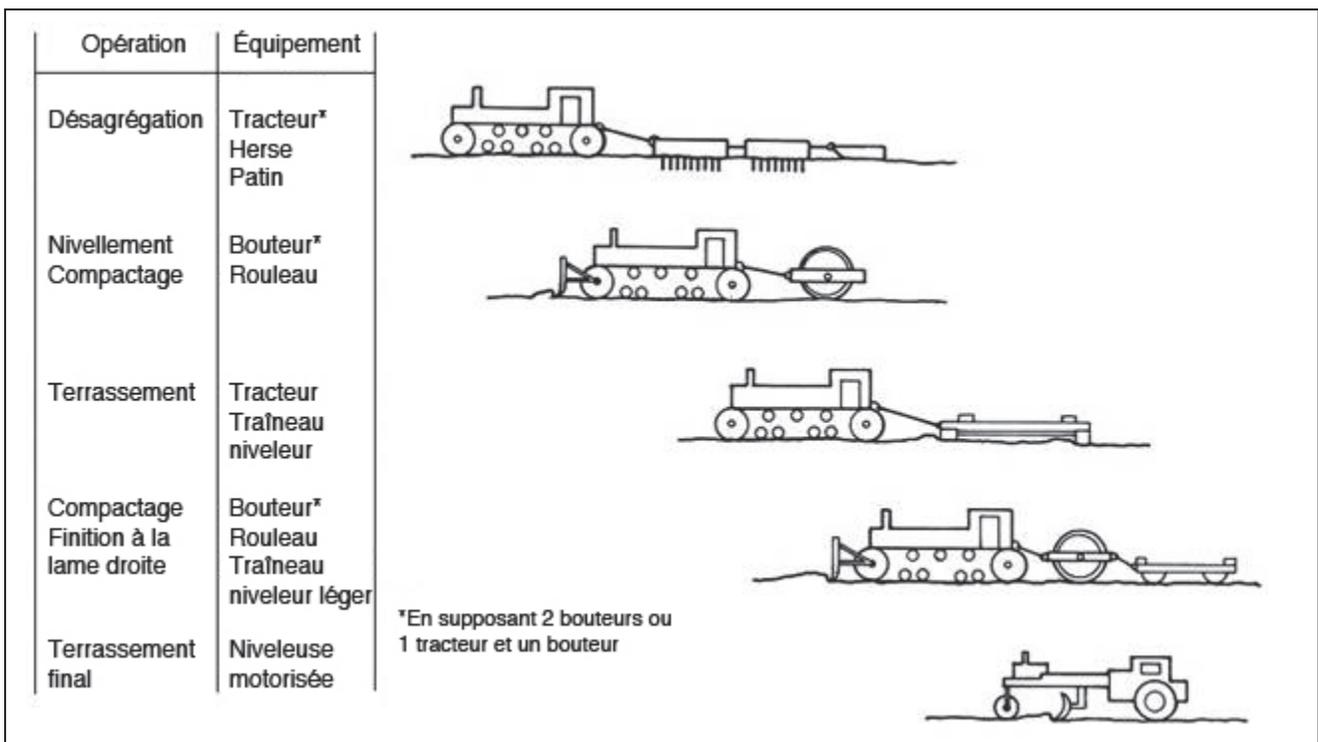


FIGURE 2-6 : Classification des chaussées de neige selon les pressions de contact de la charge par roue (selon Abele 1990)

2.4 GUIDES PANGOUVERNEMENTAUX RELATIFS AUX ROUTES D'HIVER

Un certain nombre de guides fédéraux, provinciaux et territoriaux relatifs aux routes d'hiver ont été préparés depuis 1970. Six de ces guides, qui sont facilement disponibles, sont comparés au Tableau 2-2 figurant à la fin du présent chapitre.

2.4.1 Guide de sécurité pour les opérations sur glace du Conseil du Trésor du Canada

Le Conseil du Trésor du Canada a publié le Guide de sécurité pour les opérations sur glace en 1992. Ce document stipule les règles de sécurité applicables à tous les employés de la fonction publique qui participent à des opérations sur couvertures de glace. Ce guide se limite aux ponts de glace d'eau douce appelés à supporter une masse total autorisé d'au plus 22,5 tonnes métriques (25 tonnes courtes). Il enjoint les lecteurs à communiquer avec la Section de géotechnique du Conseil national de recherches du Canada lorsque les charges sont susceptibles de dépasser 22,5 tonnes métriques (25 tonnes courtes) ou lorsque les opérations se dérouleront sur des couvertures de glace d'eau salée. Bien que ce guide contienne une information de qualité, ses diagrammes sur la capacité de charge sont très conservateurs et peu pratiques pour la masse des véhicules de transport actuels.

2.4.2 Guides relatifs à la construction des routes d'hiver à l'intention des entrepreneurs et des inspecteurs du Manitoba

Infrastructure et Transports Manitoba (ITM) a publié deux documents :

- Le *Contractor's Manual for the Construction and Maintenance of Winter Roads* (Guide de l'entrepreneur relatif à la construction et à l'entretien des routes d'hiver) (7^e édition), et
- Le *Inspector's Manual for the Construction and Maintenance of Winter Roads* (Guide de l'inspecteur relatif à la construction et à l'entretien des routes d'hiver) (9^e édition).

Le Guide de l'entrepreneur a pour but « de fournir de l'information sur des pratiques de travail sécuritaires et d'aider à réduire le risque d'accident sur les routes de glace ». Il a été préparé par le *Winter Road Safety Committee*, composé de représentants d'ITM, du ministère du Travail et de l'Immigration du Manitoba et de l'industrie privée, qui bénéficient d'une expérience dans les domaines de la construction et de l'exploitation des routes d'hiver.

Il enjoint les lecteurs à se reporter au guide *Standard Construction Specifications* du ministère des Transports du Manitoba pour plus de détails sur les normes de construction et d'entretien des routes d'hiver.

Le Guide de l'inspecteur contient quant à lui d'anciennes pratiques et méthodes et a été préparé pour aider les inspecteurs des routes d'hiver du ministère des Transports du Manitoba à s'acquitter de leurs tâches d'une manière sûre et standardisée. Il est censé être utilisé de concert avec le Guide de l'entrepreneur et le Guide de spécifications. Le Guide de l'inspecteur comporte un certain nombre de procédures, y compris la prise de mesures de l'épaisseur de glace à l'aide de tarières, les comptes rendus sur l'épaisseur de glace et des diagrammes sur les capacités de charge admissibles. De plus amples détails portent sur les rapports et les procédures de compte rendu des inspecteurs et sur l'approbation de la construction. Ce Guide fournit également des conseils sur la construction des routes sur terre et sur les dispositions relatives à la santé et la sécurité au travail.

Bien que le manuel contienne des pratiques recommandées, on rappelle aux tiers de développer des procédures d'inspection, des documents et des politiques qui portent spécifiquement sur la construction et l'exploitation de leurs propres routes d'hiver. Ces guides insistent sur le fait que les pratiques générales ne peuvent traiter de situations spécifiques relatives à une route d'hiver.

2.4.3 Le *Winter Roads Handbook* de la Saskatchewan

Un comité conjoint composé d'entrepreneurs qui construisent des routes d'hiver et du personnel du ministère de la Voirie et du Transport de la Saskatchewan ont compilé de la documentation en vue d'élaborer ce manuel sur les routes d'hiver. Ce dernier a pour but de « réduire au minimum le risque d'accident dus à la rupture de la glace ». Il fournit de plus des « lignes directrices pour des pratiques de travail sûres sur les routes de glace ». Il fournit des lignes directrices détaillées sur la construction et sur l'exploitation des routes de glace.

Il s'agit également du seul guide qui fournit des conseils sur l'utilisation d'un géoradar (GPR) pour le profilage de l'épaisseur de la glace. Plusieurs dessins utiles sont inclus pour illustrer les concepts de la glace et la construction des routes de glace.

2.4.4 Le *Field Guide to Ice Construction Safety* des Territoires du Nord-Ouest

Le ministère des Transports du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (GTNO) a publié ce guide de terrain à l'intention de son personnel et des entrepreneurs chargés de la construction et de l'entretien des routes d'hiver, des routes de glace et des ponts de glace. Des pratiques et des méthodes de travail sont décrites en vue d'accroître la sécurité de ceux qui travaillent ou qui se déplacent sur la glace. Le diagramme des capacités portantes de la glace qui y sont recommandées est très conservateur en raison de la forte utilisation de ces routes de glace par le public. D'autres juridictions ont utilisé ce guide comme référence pour préparer le leur.

2.4.5 Le *Best Practice for Building and Operating Safely on Ice* de l'Alberta

Le *Best Practice for Building and Operating Safely on Ice* (2009) de l'Alberta fournit un résumé des pratiques courantes en matière de construction et d'exploitation des installations de transport qui utilisent comme support de structure de la glace flottante. Ce document a été préparé par un comité consultatif composé de nombreux intervenants, dont des représentants des domaines de la sécurité, de l'ingénierie, de la construction et de l'entretien. Il a été développé pour aider les employeurs et les entrepreneurs à s'acquitter de leurs obligations en matière d'évaluation, d'élimination et de limitation des aléas, telles que décrites dans la partie 2 du *Occupational Health and Safety Code* (Code de la santé et de la sécurité du travail) de l'Alberta. De multiples détails sont fournis sur la pratique exemplaire relative à la façon d'utiliser l'approche d'évaluation de l'aléa et de limitation du risque en mettant en œuvre des contrôles d'ingénierie, de surveillance et administratifs. Plusieurs tableaux, graphiques et photographies sont utilisés pour décrire les étapes utilisées tout au long du processus.

2.4.6 Travaux sur les champs de glace – Guide 1996 du Québec

Ce guide a été publié en 1996 par la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) du Québec. La plupart des renseignements qu'il contient sont semblables à ceux contenus dans les autres guides publiés. Le diagramme des capacités portantes de la glace recommandées est très conservateur et requiert plus de glace pour une charge donnée que la plupart des autres guides.

2.5 GUIDES SUR L'ENVIRONNEMENT ET L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

2.5.1 Stanley Associates and Sentar Consultants, 1993. Environmental Guidelines for the Construction, Maintenance, and Closure of Winter Roads in the Northwest Territories

Le ministère des Transports du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (GTNO) a commandité ce manuel qui est une compilation de lignes directrices environnementales pour la construction, l'entretien et la fermeture des routes d'hiver dans les Territoires du Nord-Ouest. Ce manuel a été conçu initialement pour aider les superviseurs des routes d'hiver sur le terrain du ministère des Transports à prendre des décisions éclairées dans le but de réduire les effets néfastes des routes d'hiver sur l'environnement. Figurent au chapitre 2 des renseignements utiles pour planifier les routes d'hiver et pour éviter les secteurs vulnérables d'un point de vue environnemental lors de la détermination des emprises. Il est recommandé au chapitre 3, qui porte sur la conception et sur la construction des routes d'hiver, d'aménager des routes d'hiver sur terre sur une couche de neige d'au moins 10 cm afin de protéger le terrain des dommages causés par les véhicules à roues. Le chapitre 4 contient quant à lui de l'information sur le franchissement des passages de cours d'eau et de rivières. Cet ouvrage renvoie au *Guide to Ice Construction Safety* du GTNO à titre de guide complémentaire pour les questions de sécurité en matière de construction et d'exploitation des passages de glace.

2.5.2 Hardy Associates. 1994. Land Use Guidelines Access Roads and Trails

Les Affaires autochtones et Développement du Nord Canada (anciennement les Affaires indiennes et du Nord Canada) ont publié leur propre ouvrage qui contient des lignes directrices sur l'aménagement du territoire pour la planification, le développement, l'exploitation et l'abandon des voies d'accès et des sentiers dans les Territoires du Nord-Ouest et au Yukon.

Destiné aux entrepreneurs, aux exploitants et aux inspecteurs, cet ouvrage a pour but de les aider à mieux comprendre les impacts environnementaux et les mesures d'atténuation qui y sont associées lors de la construction et de l'exploitation de routes multi-saisons et de voies d'accès d'hiver. L'ouvrage traite de la structure administrative du gouvernement et de la réglementation à observer lors de la construction de voies d'accès d'hiver (routes d'hiver sur terre).

Des indications sont données sur la préparation des surfaces, les passages de cours d'eau, et l'entretien et l'abandon des routes; cependant, aucune information sur la conception technique n'y figure.

CE CHAPITRE EN BREF

- Évolution des pratiques de conception et de construction des routes d'hiver au cours des dernières décennies en réponse essentiellement aux demandes croissantes et au développement de nouveaux équipements.
- L'exploitation des ressources naturelles et les collectivités éloignées dont la population augmente sans cesse ont entraîné une demande pour une circulation accrue, des charges plus lourdes et une période d'exploitation optimale.
- Les guides actuels ne traitent pas des questions reliées aux nouveaux besoins en matière de routes d'hiver.

RÉFÉRENCES

Abele, G., 1990. *Snow Roads and Runways*, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Special Report 90-03.

Adam, K.M., 1978. *Construction et exploitation des routes d'hiver au Canada et en Alaska*, Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada, Direction générale de l'environnement du Nord, Études environnementales n° 4.

Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec. 1996. Travaux sur les champs de glace. Bibliothèque nationale du Québec.

Hardy Associates Ltd. 1994. *Land Use Guidelines Access Roads and Trails*. Préparé pour les ressources terrestres, Programme du Nord canadien, AINC.

Gold, L.W., 1971. *Use of ice covers for transportation*. Revue canadienne de géotechnique, Vol. 8, pp. 170-181.

Government of Alberta. 2009. *Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta*. Publication No. SH010.

Government of Northwest Territories, Department of Transportation, 2007. *A Field Guide to Ice Construction Safety*.

Iglauer, Edith. 1975. *Denison's ice road*. E.P. Dutton & Co., Inc., New York.

Johnson, Philip R., and Collins, Charles M., 1980. *Snow Pads Used for Pipeline Construction in Alaska*, 1976. Construction, Use and Breakup. CRREL Report 80-17.

Manitoba Infrastructure and Transportation. 2007. *Inspector's Manual for the Construction and Maintenance of Winter Roads*. 9th Edition.

Manitoba Infrastructure and Transportation. 2007. *Contractor's Manual for the Construction and Maintenance of Winter Roads*. 7th Edition, Prepared by the Winter Road Safety Committee.

Saskatchewan Ministry of Highways and Infrastructure. 2008. *Winter Roads Handbook*.

Sigfusson, S., 1992. *Sigfusson's Roads*, Watson and Dwyer.

Stanley Associates and Sentar Consultants. 1993. *Environmental Guidelines for the Construction, Maintenance and Closure of Winter Roads in the Northwest Territories*. Prepared for the Department of Transportation, Government of the Northwest Territories.

Conseil du Trésor du Canada. 1992. *Guide de sécurité pour les opérations sur glace*.

CHAPITRE 3

CLASSIFICATION DES ROUTES D'HIVER

3.0 CONTEXTE

Adam (1978) a développé une structure de classification des routes d'hiver en fonction des méthodes de construction et des matériaux utilisés pour les construire. Johnson et Collin (1980) ont développé quant à eux une approche propre à chaque projet, fondée sur les types de véhicule devant emprunter les routes de neige et exprimée en termes de densité de la neige et de méthode de construction utilisée pour obtenir la densité requise. Abele (1990) a développé une classification des chaussées de neige selon les pressions de contact de la charge par roue, qui repose sur une approche qui combine les matériaux et les méthodes de construction utilisés et la résistance de la chaussée. Les planificateurs, les praticiens et les exploitants de routes d'hiver au Canada utilisent ce système axé sur la performance.

APERÇU

- Contexte
- Classification des routes d'hiver
- Trois types de routes sur terre
- Deux types de routes sur glace
- Gestion de la neige
- Avantages/inconvénients des types de route d'hiver
- Références

La documentation existante n'utilise pas une terminologie cohérente pour décrire les routes d'hiver en raison des différents systèmes de classification qui ont été élaborés en fonction de perspectives différentes et d'applications propres à des projets spécifiques. Les guides provinciaux et territoriaux utilisent souvent différemment les descripteurs et les termes, ce qui ajoute à la confusion.

Le présent chapitre présente un système de classification des performances (voir Tableau 3-1) pour définir quatre catégories de routes d'hiver. Chaque catégorie constitue un type différent de route d'hiver adapté à des applications spécifiques. Les catégories sont traitées plus en détail dans les paragraphes qui suivent.

TABLEAU 3-1 : Classification des routes d'hiver

| Technologie routière | Type de route | Catégorie | Description |
|----------------------|--------------------------------------|-----------|--|
| Sur terre | Routes de neige compactées | C1 | Surface de roulement composée de neige naturelle compactée. |
| | Routes de neige recouvertes de glace | C2 | Neige naturelle compactée qui est recouverte de glace au moyen d'eau; la neige peut également être fabriquée sur de courts tronçons. |
| | Routes de glace | C3 | Fabrication d'une surface de glace en l'arrosant d'eau ou en extrayant et en arrosant des agrégats de glace. |
| Sur glace | Routes de glace flottante | C4 | Routes qui suivent les couvertures de glace flottante des lacs ou des rivières. |
| | Routes de glace ancrée sur le fond | | Routes qui suivent les couvertures de glace ancrée sur le fond des lacs ou des rivières. |

Sont exclues du tableau les sentiers d'hiver aménagés à l'aide de neige légèrement damée, qui seront utilisés pour un usage déterminé, soit pour fournir un accès aux véhicules à faible pression au sol, tels que ceux utilisés dans le cadre de programmes de géophysique sismique.

Au Canada, les routes d'hiver pour véhicules à roues sont généralement construites à l'aide de neige naturelle compactée (C1). Il arrive parfois que la neige compactée soit arrosée d'eau (glacée) afin de construire une surface recouverte de glace qui sera dotée d'une capacité portante additionnelle (C2). Les routes de glace sur terre (C3), qui sont peu courantes au Canada, ne sont construites que pour des véhicules très lourds (supérieurs à 63 500 kg).

Des routes de glace aménagées sur des surfaces de glace flottante (C4) sont souvent utilisées au Canada. Ces routes ont l'avantage d'être en général moins coûteuses à construire et à entretenir et ont peu d'impact sur l'environnement. Toutefois, les conséquences d'une rupture de glace sous-entendent une gestion très prudente des charges qu'elles peuvent supporter et de leur durée de vie (période d'exploitation). Leur performance est limitée par la géographie et par le climat. Les routes sur glace flottante présentent des aléas uniques pour la sécurité associés à leur construction et à leur exploitation, qui doivent être gérés efficacement.

Le type de route d'hiver approprié est en fonction des exigences d'un projet en particulier, telles que les besoins en matière de charge et de circulation, le type de terrain que traversera la route, la zone climatique dans laquelle elle est située, les conditions climatiques à un moment précis et les exigences environnementales, sociales et réglementaires.

3.1 ROUTES D'HIVER SUR TERRE

3.1.1 Routes de neige compactée sur terre (y compris celles faites de neige fabriquée) (C1)

Les routes de neige compactée sont généralement construites en damant ou en compactant la neige naturelle en place. Aucune eau n'est appliquée à la surface de la neige. Une route de neige compactée sur terre constitue la catégorie de route d'hiver la plus basse et par conséquent, la moins coûteuse. Les routes d'hiver construites pour accéder aux communautés isolées du Nord canadien, telles que celles exploitées au Manitoba, en Saskatchewan, dans le nord de l'Ontario et dans les Territoires du Nord-Ouest, constituent des exemples de routes de neige compactée.

Les routes de neige compactée peuvent avoir une capacité limitée pour supporter la charge de véhicules plus lourds (>37 500 kg) et un nombre de véhicules plus élevé (>1000 voyages). Du matériel au sol spécialisé (à chenilles ou sur pneus à faible pression) qui est capable de transporter de lourdes charges, mais en petit volume, est couramment utilisé sur les surfaces de neige compactée d'Alaska.

Lors d'années où les précipitations de neige sont faibles, il peut être nécessaire de compléter les routes de neige compactée à l'aide de neige naturelle transportée d'ailleurs ou de neige fabriquée sur place ou encore, fabriquée ailleurs, transportée et déversée sur place. Cette neige additionnelle est requise pour protéger la végétation sous-jacente et pour construire une surface praticable pour les véhicules à roues. Ces techniques ne sont utilisées qu'au cours d'années où il y a pénurie de neige ou le long de tronçons de route d'hiver où la neige naturelle se fait rare. Dans le cas des routes de neige compactée, on utilise diverses formes de compactage pour produire la meilleure surface de roulement avec l'équipement disponible.

Le compactage se fait à l'aide d'un équipement sur chenilles qui se déplace le long de la route et qui traîne un traîneau niveleur pour mieux redistribuer la neige ou du matériel de compactage, tel qu'un traîneau niveleur à pneus et à châssis métallique. Un meilleur compactage peut être réalisé à l'aide d'un équipement de compactage des sols conventionnel, tel qu'un rouleau. Selon le niveau de compactage atteint, des charges plus lourdes et des véhicules dotés de pneus à haute pression peuvent circuler sur des routes de neige compactée, mais les charges et le débit de circulation demeurent limités. Les routes de neige compactée peuvent être améliorées et converties en routes de neige recouvertes de glace pour accroître leur longévité ou leur capacité de charge.



FIGURE 3-1 : Route de neige compactée construite pour accéder aux communautés situées dans le nord du Manitoba

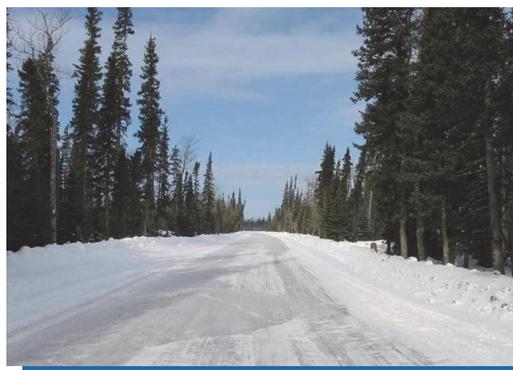


FIGURE 3-2 : Tronçon recouvert de glace le long de la route d'hiver de la Baie James, en Ontario, qui traverse la forêt boréale

3.1.1.1 Avantages et inconvénients

Le principal avantage des routes de neige compactée, c'est qu'elles peuvent être construites rapidement, à un coût minime, sans nécessiter le transport d'eau. Leur principal inconvénient, c'est qu'elles comportent des limitations quant au trafic routier et aux charges.

3.1.2 Routes de neige recouvertes de glace sur terre (C2)

Les routes de neige compactée sont recouvertes d'une couche de glace qui leur permet de supporter des véhicules sur roues plus lourds. Ces routes sont souvent les routes d'hiver les plus faciles à construire, et elles peuvent supporter un trafic routier important (> 1000 voyages). L'eau qui est déversée sur une route de neige compactée en temps de gel, fonctionne à deux niveaux :

- Elle est retenue dans les zones de liaisons inter-granulaires de la couche de neige; et
- Elle gèle dans ces zones, renforçant ainsi ces dernières et augmentant la résistance globale et la dureté de la structure de surface.

Les liaisons inter-granulaires se forment rapidement comparativement au processus plutôt lent du durcissement par vieillissement (frittage) de la neige sèche. Qui plus est, de légères applications d'eau répétées augmentent la densité de la neige et en réduisent la porosité, la couverture de glace formant une surface renforcée et très résistante à l'usure. La Figure 3-2 montre un tronçon de route d'hiver recouvert de glace.

Les routes de neige recouvertes de glace qui sont aménagées sur terre constituent une technologie routière conventionnelle qui a été utilisée pour construire la route d'hiver de la Baie James, dans le nord de l'Ontario, et les sections de portage de la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto (TCWR) et les Territoires du Nord-Ouest au Nunavut, ainsi que de nombreuses autres routes d'hiver aménagées ailleurs au Canada. Cette technologie fournit une route acceptable qui répond la plupart du temps aux exigences de la majorité des projets. S'il n'y a pas assez de neige, une route de glace ferme peut être envisagée, ou de la neige peut être recueillie ailleurs ou, dans certains cas, elle peut être fabriquée. La neige peut être récupérée dans des accumulations créées par les vents ou encore, des clôtures à neige peuvent être installées à l'automne afin de contrôler les vents au profit de la construction.

3.1.2.1 Avantages et inconvénients

Le principal avantage qu'offrent les routes de neige recouvertes de glace, c'est qu'elles peuvent supporter un volume élevé de charges ainsi qu'une variété d'équipements d'exploration et de développement. Les entrepreneurs canadiens convertissent souvent une route C1 en route C2 parce que la circulation des véhicules et les charges nécessitent une plus grande capacité de la route.

Une route de neige compactée est sensible aux pénuries de neige, aux températures chaudes et à la lumière solaire. Des provisions de neige devraient être faites pour faire face aux pénuries de neige et aux températures anormalement chaudes afin de prolonger la saison au besoin.

Les routes de neige sur terre recouvertes de glace constituent la technologie routière conventionnelle qui a été utilisée pour construire la route d'hiver de la Baie James, dans le nord de l'Ontario, et les sections de portage de la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto (TCWR), et les Territoires du Nord-Ouest au Nunavut.

Les inconvénients comprennent une traction limitée pour les véhicules. De plus, elles nécessitent des sources d'eau et une capacité de transport qui doivent être planifiées et pour lesquelles on doit obtenir à l'avance les permis appropriés. Ces efforts additionnels rendent ces routes plus coûteuses qu'une simple route de neige compactée.

3.1.3 Routes de glace sur terre (y compris les routes faites d'agrégats de glace) (C3)

Les routes d'hiver faites d'agrégats de glace sont courantes sur le versant nord de l'Alaska, où la couche de neige du début de saison est peu sûre, les techniques de récupération de la neige sont peu utilisées et l'abondance de la glace qui recouvre les lacs permet l'extraction d'agrégats de glace. Des taux de formation de la glace de plus de 30 cm/jour sont atteints en inondant les copeaux de glace qui ont été déversés sur la route.

Les routes d'hiver peuvent être aménagées sur terre en tant que surfaces de glace épaissies par épandage d'eau ou en ayant recours à des copeaux de glace (agrégats). La couverture de neige initiale n'est pas un composant intégral du processus de construction des routes de glace sur terre. Les routes ainsi construites nécessitent moins d'entretien que celles faites d'épais remblai de neige et où de lourdes charges et un haut volume de circulation sont prévus.

Les routes de glace sur terre constituent la catégorie de routes d'hiver la plus élevée et peuvent supporter de plus lourdes charges et des volumes de circulation plus

élevés que les autres types de routes d'hiver. La construction de telles routes est bien établie en Alaska, mais moins au Canada où les réserves de neige ne constituent habituellement pas un problème et où les routes de neige recouvertes de glace sont efficaces à des coûts moindres. Certains exploitants de routes d'hiver utilisent plus de glace et moins de neige pour les portions terrestres des routes d'hiver, la glace créant une route de meilleure qualité et moins de risque de performance.

Sentar (1993) a indiqué que les routes de glace sur terre ne sont habituellement réalisables d'un point de vue économique que sur de courts tronçons de route, s'il n'y a pas suffisamment de neige pour aménager des routes de neige. Toutefois, en Alaska, les routes d'hiver faites d'agrégats de glace sont pratique courante en raison des nombreuses sources de glace de lac disponibles et du manque de neige.



FIGURE 3-3 : Chargement et transport d'agrégats sur le versant nord de l'Alaska (avec l'autorisation de l'AIC)

Les routes faites d'agrégats de glace sont construites avec de la glace en copeaux/concassée qui a été chargée, transportée (voir Figure 3-3) puis finalement déversée progressivement sur la route, tout comme on le ferait pour la construction d'une route de gravier conventionnelle. La surface est ensuite damée à l'aide d'un véhicule à chenilles, et un léger jet d'eau est pulvérisé sur la surface afin de cimenter les copeaux de glace ensemble et de former une surface lisse. Les agrégats de glace sont habituellement extraits de la surface de lacs d'eau douce avoisinants ou de baies dont le fond est gelé. Ils sont extraits à l'aide de tracteurs munis de défonceuses. Une route faite d'agrégats de glace s'adapte mieux aux terrains inégaux qu'une route de glace ferme construite en inondant la chaussée.

3.1.3.1 Avantages et inconvénients

Les principaux avantages qu'offre une route de glace sur terre sont sa capacité portante élevée pour la circulation et son besoin de neige limité. Les principaux inconvénients sont ses besoins importants en eau et en agrégats de glace, et les coûts élevés qui s'y rapportent. Plusieurs sources d'eau adéquates doivent être identifiées et autorisées, et du matériel pour transporter l'eau ou les agrégats de glace est requis.

3.1.4 Routes sur glace (C4)

Les routes sur glace sont largement utilisées au Canada pendant les mois d'hiver, comme routes de glace pour traverser les lacs (voir Figure 3-4) et comme ponts de glace pour traverser les rivières (voir Figure 3-5). Elles peuvent être aménagées sans neige et fournissent une surface solide et lisse qui nécessite peu d'entretien. Toutefois, les inconvénients qu'elles présentent sont : une charge totale qui est toujours limitée par la capacité portante de la glace flottante, leur dépendance à des conditions climatiques et de glace adéquates et le risque inhérents au potentiel de rupture.



FIGURE 3-4 : Tracé d'une route de glace sur le Lac de Gras, au sud de la mine de diamants Diavik, le long de la route d'hiver Tibbitt-Contwoyto (avec la permission de TCWR-JV)



FIGURE 3-5 : Pont de glace sur la rivière Saskatchewan Sud près de St-Louis, en Saskatchewan, mars 2010

Ces routes ont une empreinte environnementale limitée, les déplacements s'effectuant sur la glace des lacs. Le concepteur et l'entrepreneur doivent bien comprendre les aléas associés à l'utilisation d'une couche de glace flottante pour les routes d'hiver. S'ils respectent les lignes directrices appropriées pour évaluer la capacité des routes d'hiver, la probabilité que la glace se rompt sera faible. Néanmoins, les conséquences d'une rupture de la glace flottante, où il peut y avoir des pertes de matériel et de vies, sont beaucoup plus graves que la rupture de la glace ancrée sur le fond. Par conséquent, le risque de rupture de la glace flottante doivent être gérés à un niveau acceptable (Hayley et Proskin, 2008).

Les différences fondamentales entre la glace flottante et la glace ancrée sur le fond sont traitées au chapitre 6. Les routes de glace flottante tirent leur capacité portante de la flottabilité et de la résistance de la couche de glace (Gold, 1971). Sur les étendues d'eau peu profondes, l'eau peut geler jusqu'au fond et créer ainsi de la glace ancrée sur le fond, où la charge est alors supportée par une réaction du sol de fondation sous-jacent (Spencer, 2008).

La plupart des projets de routes de glace sous-entendent une gestion de la neige qui recouvre la couche de glace. La neige nuit à la formation de la glace, recouvre les fissures qui s'y trouvent et ajoute une masse supplémentaire sur celle-ci. La présence de la neige et ses effets négatifs sur la construction et l'entretien des routes de glace sont décrits à la section 8.2 du chapitre 8.

La construction et l'entretien se limitent généralement à dégager la neige de la glace, à tester les conditions de glace et à inspecter la surface de glace et les portages afin d'y repérer toute fissure et tout signe d'usure. Les routes sur glace sont habituellement fermées lorsque les tronçons sur terre deviennent impraticables. La mince chaussée de neige ou de glace sur les tronçons de portage a tendance à s'amollir plus rapidement au printemps que la couche de glace flottante ne s'affaiblit dans les conditions climatiques appropriées. Outre ces facteurs, il arrive parfois que des débordements importants, dans des endroits critiques, forcent également la fermeture précoce des routes sur glace.

Les opérations de déneigement devraient commencer aussi tôt que possible si la sécurité le permet afin de favoriser la formation de glace. La formation naturelle de glace peut être accrue en épaississant la couche de glace afin que la route de glace puisse supporter les charges pour lesquelles elle a été conçue. L'épaississement de la glace peut être effectué en inondant la surface, en y pulvérisant de l'eau ou en y plaçant des copeaux de glace et en inondant la surface. Si l'on a recours à l'épandage ou à la pulvérisation d'eau, l'eau est pompée de dessous la glace et est appliquée à la surface en minces couches. Chaque couche d'eau ajoutée doit geler complètement et adhérer à la couche sous-jacente avant qu'une autre couche puisse être ajoutée. Selon les températures ambiantes, on obtient des taux de formation de glace quotidiens de 3 à 8 cm par inondation et de 5 à 15 cm par pulvérisation.

La capacité d'une route d'hiver à recevoir un fort trafic et des charges sur roue élevées est toujours déterminée par le point faible du système. La capacité de charge est habituellement contrôlée par la capacité de charge de la glace flottante, les conséquences d'une rupture de glace pouvant entraîner la perte d'un véhicule, comme le montre la Figure 3-6.

3.1.4.1 Avantages et inconvénients

Les routes de glace aménagées sur des surfaces de glace flottante ont l'avantage d'être construites rapidement et d'être habituellement moins coûteuses à construire et à entretenir, et ce, avec une incidence minimale sur l'environnement. Cependant, elles sont limitées par la charge qu'elles peuvent supporter et par leur période d'exploitation, ou par la géographie et le climat. Les routes sur glace flottante présentent des aléas uniques pour la sécurité quant à leur construction et à leur exploitation, aléas qui doivent être gérés efficacement.



FIGURE 3-6 : Rupture d'une surface de glace flottante

CE CHAPITRE EN BREF

Les routes d'hiver sont classées en trois types de routes sur terre et en deux types de route sur glace. Comme le montre le tableau ci-dessous, la capacité de charge en véhicules et en volume de circulation augmentent entre le type de route C1 et le type de route C3. Les routes sur glace de type C4 peuvent s'avérer moins coûteuses à construire/ exploiter que les routes sur terre, mais le risque de rupture doit être gérés adéquatement.

| Type de route | Masses totale en charge maximale type (kg) | Étendue du volume de circulation (charges par saison) |
|---------------|--|---|
| C1 | 39 500 (5 essieux) | 500 à 1000 |
| C2 | 56 500 (7 essieux) | 1000 à 2000 |
| C3 | 63 500 (8 essieux) | 5000 à 10 000 |
| C4 | 56 500 (7 essieux) | 5000 à 10 000 |

RÉFÉRENCES

Abele, G., 1990. *Snow Roads and Runways*, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Special Report 90-03, 1990.

Adam, K.M., 1978. *Construction et exploitation des routes d'hiver au Canada et en Alaska*, Études environnementales n° 4, Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada, Ottawa

Gold, L.W., 1971. *Use of ice covers for transportation*. Revue canadienne de géotechnique, Vol. 8, pp. 170-181.

Hayley, D., et Proskin, S., 2008. *EBA Engineering Consultants Ltd. Managing the Safety of Ice Covers Used for Transportation in an Environment of Climate Warming*. 4^e Conférence canadienne sur les géorisques, Québec (Québec).

Johnson, P.R. and C.M. Collins, 1980. *Snow pads used for pipeline construction in Alaska*, 1976. USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL Report 80-17.

Spencer, P.A., Strandberg, A., Maddock, W.P., 2008. *Ice and tundra road design*. Proceedings ICETECH 2008, July 20-23, Banff, Alberta.

Stanley Associates Engineering Ltd. and Sentar Consultants Ltd., 1993. *Environmental Guidelines for the Construction, Maintenance and Closure of Winter Roads in the Northwest Territories*. Report submitted to the Department of Transportation, Government of the Northwest Territories, October 8, 1993.

CHAPITRE 4

PLANIFICATION DES ROUTES D'HIVER

4.0 PROCESSUS DE LA PLANIFICATION

La planification constitue sans contredit l'étape la plus importante de la construction d'une route d'hiver, quel que soit le type de cette dernière et peu importe qu'elle soit aménagée le long d'un nouvel alignement ou le long d'une emprise déjà existante pour une nouvelle saison d'hiver. Une bonne planification fait partie intégrante de la construction et de l'exploitation réussies d'une route d'hiver, tout en protégeant l'environnement. Le présent chapitre a pour but d'établir des principes directeurs pour la planification et le développement d'options de routes d'hiver saisonnières.

La détermination précoce des exigences en matière de charges et de contraintes qu'impose l'état du site peut résulter en une prise de décisions efficaces qui optimiseront la période d'exploitation de la route d'hiver. Un plan qui prévoit la mise en exploitation la plus rapide possible – même lorsque les objectifs de transport ne nécessitent pas une saison d'hiver complète – constitue la meilleure façon d'atténuer le risque de ne pas satisfaire aux exigences de rendement. Toutefois, le début trop précoce de la construction d'une route d'hiver à l'automne ou son ouverture jusque tard au printemps peuvent entraîner des dommages inacceptables au terrain et peuvent compromettre la sécurité.

Il importe de savoir qu'il existe une grande variété de routes d'hiver et de nombreuses options possibles. Les personnes qui travaillent à des projets de routes d'hiver doivent connaître les options qui s'offrent à elles et planifier en conséquence le type de route d'hiver dont elles ont besoin. La classification des routes d'hiver est décrite au chapitre 3.

Le processus de planification requis pour déterminer les différentes options de routes d'hiver est présenté à la section 4.4.1. Il comprend d'abord :

- La définition des exigences requises pour une exploitation réussie de la route;
- Le développement de tracés éventuels de la route d'après l'information disponible sur le site;
- L'examen des connaissances des lieux;

APERÇU

- Rôle de la planification
- Définition des exigences de la route
- Développement des options de tracé routier
- Prise en compte des températures, des précipitations et des conditions de gel
- Développement des options de routes d'hiver
- Inclusion d'options d'intervention d'urgence

- L'examen des données climatiques sur le site afin d'identifier les températures et les conditions d'enneigement et de glace susceptibles d'influer sur les options de route d'hiver, et
- L'examen des réglementations et des limitations en matière d'environnement, et l'obtention des permis nécessaires.

Une fois cette information recueillie, le processus de planification devient plus détaillé et permet d'examiner quelles options de route d'hiver présentées au chapitre 3 sont viables d'après l'information présentée aux chapitres 5 à 11.

4.1 DÉFINITION DES EXIGENCES DE LA ROUTE

Les exigences de la route doivent être clairement énoncées dès le début du processus de planification. Dans le cas des routes d'hiver saisonnières, les exigences comprennent :

- Le calendrier et la période d'exploitation
- Le type et le volume de circulation
- L'emprise de la route, et
- Les exigences réglementaires et environnementales.

4.1.1 Calendrier et période d'exploitation

Le calendrier désiré doit être établi tôt dans le processus de façon à identifier les contraintes existantes susceptibles de nuire au respect de ce dernier. La période d'exploitation se définit comme la période où la route est ouverte aux véhicules de transport; elle ne comprend pas la période de construction de la route d'hiver. Le planificateur doit arrêter la date d'achèvement de la construction de la route de même que la période de temps durant laquelle la route sera nécessaire pour recevoir les volumes de circulation prévus; ces valeurs doivent être compatibles avec celles dictées par les conditions climatiques.

Lors de la détermination de la période d'exploitation la plus probable, les conditions climatiques constituent le principal facteur dont il faudra tenir compte. La construction de surfaces de neige et de glace sur terre commence habituellement après le gel d'une profondeur de sol suffisante pour supporter l'équipement. Le début de la construction est habituellement déterminé par les températures de l'air ambiant (par rapport à la température au sol) et par la couverture de neige, qui indiquent le degré de congélation du sol. L'expérience avec le surfacage de la neige et de la glace dans des régions froides démontre que la construction et les opérations sont limitées à des périodes où les températures ambiantes sont inférieures à -10°C. Toutefois, une congélation du sol et une couverture de neige ou de glace insuffisantes peuvent limiter davantage la durée de la saison d'exploitation éventuelle. Le début des opérations sur les couvertures de glace flottante est contrôlé par l'épaisseur de la glace naturelle sous la couverture de neige et par la capacité d'envoyer du matériel léger sur la glace pour enlever la neige précoce afin d'accélérer la formation de glace.

Les règles de l'art prévoient l'établissement de dates de début et de fin cibles un an avant le début des travaux de construction de la route d'hiver.

4.1.2 Type et volume de circulation

Les types de véhicules, les charges, les volumes de circulation et le calendrier sont des variables interdépendantes dans la planification d'une route d'hiver et dans la sélection d'un « type » de route d'hiver qui répondra le mieux aux exigences du projet (le dimensionnement adéquat de la route). Cela commence par l'estimation totale de l'équipement, des approvisionnements, du carburant et autres marchandises qui devront être transportés sur la route d'hiver pendant une saison. On peut alors procéder à l'estimation des types de véhicules, du volume de circulation, des charges par roues et du nombre total de voyages requis pour transporter toutes ces marchandises.

Le type de route choisi dépendra de la façon dont la route sera utilisée et du type de trafic. Un convoi de traîneaux transportant du carburant et qui ne fait que quelques voyages de retour peut nécessiter seulement une route de neige légèrement damée. Une route de neige sur terre, recouverte de glace, ou une route de glace sur eau peut être nécessaire pour un volume intense de circulation et pour des véhicules à fortes charges. Des charges pouvant atteindre 100 tonnes ont été transportées avec succès sur la glace flottante de grands lacs. Dans des conditions qui incluent un épandage d'eau sur de courtes distances, telles que la construction d'un pont de glace, la masse totale en charge peut être augmentée de façon considérable.

4.1.3 Emprise de la route

L'emprise de la route (voir Figure 4-1) correspond à la partie réservée aux voies de circulation, aux accotements pour le stockage de la neige et autres installations liées aux routes d'hiver. Elle peut varier considérablement selon les exigences du projet, le type de route et l'emplacement. Par exemple, la largeur des routes de neige compactée aménagées pour une saison seulement sera établie de façon à supporter l'équipement devant utiliser la route. Les voies d'accès saisonnières peuvent être aussi étroites que 3 mètres de largeur, mais peuvent atteindre 8 mètres de largeur pour supporter une circulation de camions dans les deux sens. La largeur des routes d'hiver est également fonction de la taille de l'équipement qui y circule et du besoin d'une circulation à sens unique ou dans les deux sens. Dans les régions forestières, l'emprise routière correspond habituellement à la largeur dégagée de tout arbre (d'une limite forestière à une autre).



FIGURE 4-1 : Emprise dégagée dans les Territoires du Nord-Ouest

Les emprises sur terre ont habituellement une largeur variant entre 6 m et 20 m selon les conditions et les exigences locales. Certains exemples comprennent :

- 6 m pour les voies d'accès aux sources d'eau (suffisamment larges pour que 2 véhicules puissent y circuler)
- 8 m pour les voies d'accès aux équipements,
- 20 m pour une route principale afin de permettre le stockage de la neige et la croissance de la végétation,

- > 20 m pour les routes principales, dans les angles et les courbes.

Les dimensions horizontales et verticales varient, pour les limitations de vitesse et pour les lignes de visée sur la surface de la route, en fonction du type de trafic, du volume de circulation, etc.

Sur les couvertures de glace flottante, la route est dégagée de toute neige sur une largeur de 30 m à 60 m, entre les remblais que forment les bancs de neige. La glace qui se trouve sous ces bancs de neige n'est pas sûre, la neige surchargeant la glace et empêchant celle-ci de se former. Les voies de circulation pour les véhicules doivent donc être aménagées à au moins 5 m des bancs de neige. Qui plus est, la largeur de la route doit permettre un espace pour stocker la neige et pour les amoncellements de neige qui habituellement réduisent la largeur de la route pendant l'hiver.

4.1.4 Considérations en matière de réglementations/permis

On doit établir bien avant que les activités sur le terrain ne débutent, qui a compétence sur l'utilisation des terres dans la région devant être traversée par la route. On doit se procurer copie des réglementations pertinentes, et tout le personnel de terrain doit se familiariser entièrement avec ces dernières. On peut éviter bon nombre de situations conflictuelles en mettant à contribution toutes les parties dès le début de l'étape de planification.

Les opérations concernant les routes d'hiver requièrent une autorisation au moyen de l'émission, par les agences gouvernementales locales et avant que ne débute la construction, d'un permis d'utilisation des terres à durée limitée ou d'un permis d'occupation à plus long terme. Ces licences et permis décrivent les exigences requises en matière d'accès aux emprises et aux sources d'eau et de couverture minimale de neige, lesquelles varient d'une juridiction à l'autre.

Les exigences en matière de permis doivent être examinées dès le début de la planification afin d'identifier les limitations quant au tracé routier, au type de route, à la construction, à l'entretien et aux opérations. Un permis de type « aménagement du territoire » est le permis minimal requis pour les routes de neige et de glace. D'autres permis peuvent également être requis pour l'utilisation des eaux, le déblaiement ou autres activités propres au projet en cause. Les permis d'aménagement du territoire stipulent généralement les conditions qui définissent la saison d'exploitation ainsi que le tracé de l'emprise. Ces permis peuvent préciser certaines restrictions quant aux sources d'eau.

La planification de projet nécessite l'identification de sources d'eau locales fiables, nécessaires à la construction et à l'entretien de la route. Le moment du prélèvement de l'eau ainsi que la quantité d'eau prélevée seront en principe contrôlés par des lignes directrices ou par des permis qui protègent les lacs considérés pour la pêche. Les agences chargées de l'utilisation des terres demanderont que certaines procédures soient suivies.

Le planificateur doit confirmer que le tracé routier choisi comporte des sources adéquates qui permettent le prélèvement d'eau identifié et pour lesquelles un permis a été obtenu. Figure au chapitre 11 le traitement détaillé des considérations en matière de réglementations et de permis.

4.2 DÉVELOPPEMENT DES OPTIONS DE TRACÉ ROUTIER

On ne pourra jamais assez insister sur l'importance de l'emplacement global du tracé routier et de l'alignement des caractéristiques géographiques, telles que les passages de rivières et de cours d'eau. En principe, l'option la plus économique est de situer le tracé routier le plus court le long du terrain le plus propice qui soit. La topographie, les passages de lacs et de rivières de même que les tracés routiers autour d'étendues d'eau sont souvent les principaux facteurs dont il faut tenir compte. Dans d'autres cas, des considérations d'ordres social, politique et culturel peuvent être les facteurs qui détermineront le choix du tracé routier.

Les facteurs dont il faut tenir compte dans le choix du tracé routier, tant pour les routes d'hiver sur terre que pour celles sur glace, sont semblables mais parfois ils diffèrent; ils sont décrits dans des paragraphes distincts.

4.2.1 Options de tracés routiers sur terre

Il importe dès le départ de situer les routes d'hiver sur un terrain propice, sur des pentes modérées, près de sources d'eau et loin de terrains vulnérables et de secteurs éventuellement problématiques. En temps normal, les routes d'hiver sur terre doivent être construites sur un terrain surélevé, sec et plat, doté de pentes douces, loin des secteurs qui reçoivent de fortes accumulations de neige et près de sources d'approvisionnement en eau (au besoin).

Les paragraphes suivants décrivent la topographie, l'emplacement des sources d'eau et l'état du terrain, tous des facteurs qui devront être pris en compte lors de l'examen des tracés routiers sur terre.

4.2.1.1 Contrôles topographiques

Les tracés routiers comportant un minimum de pentes ont tendance à être les plus efficaces et les plus économiques. Des recommandations précises portent sur ce qui suit :

- Certains véhicules peuvent avoir de la difficulté à gravir des pentes de plus de 8 %; ces véhicules devront être munis de chenilles ou d'autres dispositifs au besoin (voir Figure 4-2).
- Les pentes doivent de préférence être inférieures à 6 % avec des déclivités inévitables sur de courtes distances telles que celles qui permettent d'accéder aux passages de rivières et d'en sortir.
- Les pentes transversales doivent de préférence être inférieures à 2 % et être le plus possible nivelées pour assurer la constructibilité et la sécurité de la route.
- La construction à flanc de colline nécessite des remblais de neige plus imposants qui se tasseront et qui sont susceptibles de geler.
- Les portages (les transitions entre la terre et la glace et entre la glace et la terre) doivent également satisfaire aux exigences en matière de pentes.
- Il faut ajouter des courbes aux points de portage des routes de glace.

- Le côté abrupt des collines recevra plus de neige que le volume requis pour la construction d'une route de neige, et
- Les secteurs très boisés réduiront le transport de la neige par le vent et procureront de l'ombre.

L'exposition au soleil est un autre facteur à considérer. Les pentes exposées au nord sont généralement plus souhaitables que celles exposées au sud parce qu'elles reçoivent moins de lumière solaire, et que les surfaces de neige et de glace se détérioreront moins rapidement. Les routes de neige et de glace à l'abri du soleil du début d'après-midi dureront plus longtemps au printemps que celles exposées au soleil.

4.2.1.2 Besoins en eau et en neige

Le tracé routier doit être situé près de sources d'approvisionnement en eau si l'on prévoit avoir recours à de l'eau pour recouvrir de glace les routes de neige. Les sources d'eau doivent être identifiées et faire l'objet d'une enquête jusqu'au niveau requis pour la construction et par les autorités locales. L'on doit également obtenir tous les permis nécessaires avant de s'approvisionner depuis ces étendues d'eau.

Les tracés routiers doivent être choisis de manière à permettre un accès rapide à la neige. On privilégiera le côté sous le vent des pentes dans les cas où il n'y a pas suffisamment de neige pour la construction sur le côté au vent. Les tracés situés du côté sous le vent peuvent également être soumis à des problèmes causés par le balayement de la neige causé par le vent.

4.2.1.3 Considérations en matière de terrain

Les sols minéraux plats, secs et surélevés sont idéaux pour les tracés de la plupart des routes d'hiver sur terre, le sol demeurant stable malgré la charge de circulation. Les basses terres ont tendance à être mal drainées, les tourbières ou les sols organiques devant geler pour fournir une surface stable. Les routes situées sur les hautes terres sont généralement dégagées l'hiver par les vents, ce qui réduit les opérations de déneigement.

Le pergélisol couvre environ la moitié de la surface terrestre du Canada, et la plupart du territoire propice aux routes d'hiver du pays se trouve en zone de pergélisol. Il arrive souvent que les terrains pergélisolés contiennent de la glace qui s'avère sensible aux changements des conditions thermiques (température) et de l'état du sol (couvert végétal, type de sol). Étant donné que le sol organique est un bon isolant, on a tendance à associer les tourbières au pergélisol du Nord canadien. Tous travaux dans une tourbière réduisent habituellement les propriétés isolantes de cette dernière et entraînent plus vraisemblablement le dégel du pergélisol. L'Association des transports du Canada – ATC (2010) déclare que des changements dans les conditions thermiques ou l'état du sol entraîneront le dégel de la glace dans le sol et peuvent causer à long terme le tassement du sol, des dépressions et des effondrements.



FIGURE 4-2 : Route d'hiver escarpée dans les Territoires du Nord-Ouest

Les lignes directrices générales destinées à prévenir les problèmes associés au dégel du pergélisol sont les suivantes :

- Éviter les sols contenant beaucoup de glace, tels que les sols géométriques
- Éviter les dépôts de sol organique et les tourbières, et
- Choisir des tracés routiers sur des sols à gros grains, tels que les moraines et les régions érodées par les glaciers.

Dans les zones à pergélisol discontinu, les pentes exposées au sud des vallées peuvent ne pas être recouvertes de pergélisol et doivent être privilégiées par rapport aux pentes exposées au nord.

Les dépôts de sol organique saturés et les tourbières dont la nappe d'eau est à la surface du sol, doivent être évalués attentivement. Les dépôts dont la nappe d'eau est près de la surface du sol doivent être considérés comme des étendues d'eau dotées d'une couverture de glace flottante. Toutefois, la formation d'une couverture de glace est plus complexe, et ces couvertures de glace sont moins fiables et moins uniformes que celles formées sur les lacs.

4.2.2 Options de tracés routiers sur glace

Les conséquences d'une rupture de la glace flottante signifient que l'on doit d'abord opter pour des routes d'hiver sur des lacs ou des rivières, en ayant toujours à l'esprit la sécurité des travailleurs et la perte éventuelle d'équipements. Il est essentiel de déterminer à cette étape si l'épaisseur de la glace est suffisante pour supporter les véhicules proposés, en vertu des pratiques opérationnelles de gestion du risque en place. Il s'agit là d'un processus itératif où les configurations des véhicules et les pratiques opérationnelles sont adaptées aux conditions probables de la glace.

Lors de l'examen des tracés routiers sur glace, on doit faire une nette distinction entre la formation de glace sur des eaux vives (rivières, ruisseaux) et la formation de glace sur des eaux calmes (lacs, étangs). Les couvertures de glace sur les eaux calmes des lacs et des étangs ont tendance à être plates et assez uniformes. Celles qui se forment à la surface des rivières et des ruisseaux au courant très rapide peuvent être accidentées en raison des embâcles et du chevauchement des glaces qui se produisent pendant la formation de la glace. En général, la formation des couvertures de glace sur les rivières et les ruisseaux est plus lente que sur les lacs et les étangs en raison des courants présents. Les grands lacs et les grands étangs sont souvent intégrés aux routes d'hiver parce qu'ils offrent suffisamment de place pour aménager un corridor routier et présentent une glace assez uniforme. Les routes de glace sur les rivières et les ruisseaux traversent toujours à angle droit. Normalement, on ne doit pas utiliser les lits des rivières et ceux des cours d'eau comme emprises.

On opte pour un tracé routier sur glace flottante lorsque celui-ci est le plus susceptible de correspondre au meilleur compromis entre le tracé routier le plus court, la glace la plus épaisse, la formation de glace la plus rapide et les problèmes d'entretien les moins nombreux pendant la saison d'exploitation de la route d'hiver. Les options de tracé routier sur glace doivent être évaluées soit comme traversant les eaux calmes des lacs et des étangs, soit comme traversant les eaux vives des rivières et des ruisseaux. Les dispositions générales suivantes servent à évaluer les couvertures de glace flottante :

- Identifier l'emplacement des portages qui relient les diverses étendues d'eau (à l'aide des critères énoncés au chapitre précédent)
- Choisir des portages avec des inclinaisons, des largeurs et une stabilité acceptables en vue de supporter le volume de circulation et de satisfaire aux exigences environnementales
- Choisir des portages où le tracé routier est perpendiculaire à la rive afin de réduire au minimum les dommages causés aux emplacements de transition entre l'eau et la terre ferme
- Reconnaître que la glace varie selon la profondeur de l'eau; la glace située le long des rives et sur les hauts fonds (profondeur inférieure à 2 m) a tendance à se fissurer et à causer plus de problèmes que la glace sur les eaux profondes (profondeur supérieure à 2 m)
- Opter pour les eaux profondes (profondeur supérieure à 5 m), moins de problèmes étant associés aux vitesses des véhicules susceptibles d'endommager la glace
- Éviter les eaux peu profondes avec leur barre de sable, les transitions entre la glace ancrée sur le fond et la glace flottante pouvant fissurer la glace
- Éviter les endroits avec de forts courants
- Éviter les petites criques des rivières et des ruisseaux qui se jettent dans des lacs, et
- Réduire au minimum le nombre de portages sur terre sur les grandes étendues d'eau.

On doit limiter l'aménagement de ponts de glace ou de remblais de neige sur les rivières et les ruisseaux car ils peuvent perturber l'environnement. Les lignes directrices générales servant à évaluer les passages des rivières et des ruisseaux sont les suivantes :

- Choisir des endroits qui comportent des inclinaisons acceptables et des berges stables afin de supporter le volume de circulation et de satisfaire aux exigences environnementales
- Tenir compte de la disponibilité de l'eau et de la neige nécessaires pour construire des ponts de glace ou des remblais de neige
- Éviter les îles, les passes étroites ou l'intérieur des méandres, ceux-ci présentant de forts courants qui peuvent éroder la couverture de glace
- Éviter les hauts fonds, ceux-ci pouvant nuire à la formation de la couverture de glace
- Éviter les endroits qui ont tendance à présenter des débordements naturels
- Examiner le risque d'entrave à l'écoulement des eaux en raison de la formation de glace
- Examiner le risque d'introduction de débris dans l'eau, et
- Tenir compte des effets des changements dans les niveaux d'eau durant les opérations sur le pont de glace.

Les niveaux d'eau qui chutent durant l'hiver peuvent laisser une couverture de glace non soutenue et réduire ainsi la capacité portante de celle-ci. Les rivières dotées de barrages en amont ou d'estuaires influencés par les marées, peuvent être sujettes à des changements dans leurs niveaux d'eau pendant l'hiver.

4.2.3 Sources d'information

L'information recueillie à la fois pour les tracés routiers sur terre et pour les tracés routiers sur glace est fonction de la taille du projet. Pour tous les projets, l'information de base disponible – telle que les expériences précédentes en matière de construction de routes d'hiver dans la région, l'évaluation des terrains de même que les contraintes économiques, sociales et environnementales – doit être examinée. L'examen des routes saisonnières et des routes tous temps qui sont déjà en place dans la région, peuvent fournir une indication quant aux problèmes éventuels qui peuvent se poser et quant aux types de terrain à éviter.

Les connaissances locales (ou L'expérience locale) constituent souvent une bonne source d'information sur d'anciennes routes d'hiver et sur les conditions régionales de glace et de neige. Les Premières Nations, les propriétaires fonciers, les utilisateurs des terres et les autorités responsables de l'aménagement du territoire peuvent souvent être des sources d'information fort précieuses sur les tracés routiers éventuels et sur l'utilisation qu'on a pu en faire. Par exemple, le ministère des Transports du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest a rendu disponibles au public des dossiers historiques sur les dates d'ouverture et de fermeture de réseaux routiers sur terre et sur glace et de traversiers de même que d'autres renseignements pertinents.

Dans le cas de petits projets qui prévoient un volume de circulation limité, on peut vérifier, avant la construction, différents tracés routiers à l'aide de cartes topographiques et de la reconnaissance du site. Celle-ci doit permettre l'examen des inclinaisons, de l'état du terrain et de la profondeur de l'eau (bathymétrie). Dans le cas des grands projets qui prévoient un plus grand volume de circulation sur un terrain vierge, une analyse du terrain à l'aide de photographies aériennes à haute résolution (1:15 000) peut s'avérer un moyen efficace d'examiner plusieurs options de tracé routier sur terre.

Les résultats de l'analyse du terrain doivent être confirmés à l'aide d'une reconnaissance du site tant pendant l'été que pendant l'hiver afin de vérifier l'état du site. La reconnaissance effectuée pendant l'été devrait identifier et délimiter les types de sols et de végétation, la stabilité du pergélisol et le drainage, et identifier la vitesse d'écoulement aux passages des rivières ou des ruisseaux. La reconnaissance effectuée pendant l'hiver doit permettre l'étude des conditions de neige et de glace le long du tracé routier.

4.3 ANALYSE DU CLIMAT

4.3.1 Températures et précipitations de neige

On doit examiner les observations météorologiques (températures et précipitations de neige) près de la route d'hiver projetée afin de déterminer les températures de l'air pendant l'hiver et la distribution et la date des précipitations. La vitesse de congélation du sol et de formation de la couverture de glace est indiquée principalement par les températures de l'air pendant l'hiver. L'indice de gel (la somme des moyennes quotidiennes des températures de l'air inférieures à 0 °C) est un paramètre utile pour évaluer le potentiel de gel cumulatif de différents endroits ou pour différentes années. Tel que mentionné au chapitre 5, on a découvert qu'une fois que l'indice de gel cumulatif a atteint 305 °C-jours, le sol a gelé suffisamment pour supporter le matériel de construction de la route d'hiver. Tel que le mentionne le chapitre 6, l'indice de gel est lié à l'épaisseur de la couverture de glace.

La mesure des précipitations de neige quotidiennes et de l'enneigement global est importante, la neige constituant le matériau de construction. Des données empiriques démontrent qu'on a besoin d'une couverture de neige de 5 cm pour entreprendre les opérations précédant le compactage, et d'une couverture de 10 cm pour préparer la surface afin qu'elle puisse supporter le trafic. La neige agit également comme isolant thermique et peut ralentir la congélation du sol et la formation de la couverture de glace.

Le bureau météorologique d'Environnement Canada conserve des fiches historiques sur les données météorologiques qui renseignent sur la température et sur les précipitations de neige de plusieurs endroits du Canada. Ces fiches sont facilement accessibles en ligne et peuvent être analysées pour les endroits qui se trouvent à proximité du site d'une route d'hiver. Il importe également d'examiner les normales climatiques sur 30 ans de la station météorologique, qui peuvent être obtenues auprès du bureau météorologique. Les paramètres qui suivent sont tirés des normales climatiques sur 30 ans ou des normales pour les années qui présentent un intérêt :

- L'indice de gel cumulatif pendant l'hiver
- La date moyenne à laquelle on a atteint 305 °C-jours
- L'indice de gel annuel total
- Les précipitations de neige cumulatives pendant l'hiver
- La couverture de neige à la fin du mois
- La date moyenne de la première précipitation de neige
- La date moyenne de la première couche de neige d'au moins 5 cm (début du précompactage), et
- La date moyenne de la première couche de neige d'au moins 10 cm (début de la construction à condition que le sol soit suffisamment gelé).

4.3.2 État de la glace

Les données portant sur l'épaisseur de la glace doivent être examinées dans le cas des rivières et des lacs qui sont envisagés pour l'aménagement de routes d'hiver. Des données historiques sur l'épaisseur de glace existent pour un nombre limité de sites, dans le cadre du programme d'épaisseur de glace d'Environnement Canada.

On peut obtenir les mesures de couverture de glace suivantes à partir de ces jeux de données :

- Date moyenne du début de la période de gel
- Date moyenne de la formation de la glace afin de prévoir à quel moment déployer l'équipement
- Épaisseur de glace maximale, et
- Date moyenne du début du dégel. Le dégel indique à quel moment fermer les routes d'hiver et imposer des restrictions quant aux déplacements.

La Division des relevés hydrologiques du Canada dispose d'une série de stations de mesures de l'eau situées sur différentes rivières et différents lacs du pays. On peut s'y référer en ligne pour déterminer si une station locale fournit des données hydrologiques, telles que les débits d'eau et les niveaux d'eau dans les régions qui nous intéressent.

Dans le cas des nouvelles routes d'hiver, il peut arriver qu'aucune donnée n'existe, à l'exception de mesures non scientifiques prises par la population locale.

Dans le cas des routes d'hiver saisonnières récurrentes, les mesures de l'épaisseur de glace devraient être archivées et examinées lorsqu'on prévoit des changements dans les charges pendant la saison.

4.3.3 Changements climatiques

Les changements climatiques ont une incidence sur les températures et les précipitations de neige à long terme, remettant en cause l'hypothèse qu'on peut extrapoler des données climatiques sur les années à venir.

Environnement Canada (2010) a conclu qu'entre 1948 et 2010, les températures hivernales nationales ont eu tendance à se réchauffer de 2,5° C par décennie.

Selon Lemmen et al. (2008), la température nationale moyenne, entre 1948 et 2006, s'est réchauffée de 1,3° C. Dans le Nord-Ouest canadien, les températures hivernales se sont réchauffées de plus de 3° C entre 1948 et 2003, alors qu'on observait une tendance au refroidissement (jusqu'à -2,5° C) dans l'est de la région arctique. Depuis 1997, les températures hivernales sont demeurées plus chaudes que les moyennes.

Environnement Canada a également conclu que la plupart des hivers ont connu des précipitations égales ou inférieures à la normale depuis 1977-1978, comparativement aux moyennes de la période 1951-1980. Lemmen et al. (2008) ont observé ce qui suit :

- Une diminution de 10 % de la couverture de neige dans l'hémisphère nord entre 1972 et 2003
- Une diminution de 20 % de la durée de la couverture de neige dans l'Arctique depuis 1950, et
- Une réduction de 1 à 2 mois de la couverture de glace dans la région des Grands Lacs.

Exemple pratique : le climat du Comté du Mackenzie

Une comparaison des hivers 2004-2005 et 2005-2006 dans la vallée du fleuve Mackenzie, dans les Territoires du Nord-Ouest, est un exemple des conditions climatiques extrêmes les plus fréquentes. Les conditions météo 2004-2005 de la vallée du Mackenzie ont été plus froides que celles des six années précédentes. Les routes d'hiver de la région de North Slave ont été construites plus tôt et plus facilement que d'habitude. Les dates d'ouverture des routes ont battu de nouveaux records comparativement aux dix années précédentes. La saison suivante (2005-2006) fut la saison la plus chaude jamais enregistrée dans la région de North Slave (voir Figure 4-3). L'épaisseur de glace enregistrée sur toutes les étendues d'eau était moitié moindre que les normales annuelles des années antérieures. De nombreux tronçons sur terre étaient peu ou pas gelés avant la première précipitation de neige. Cet hiver doux a pris les entrepreneurs par surprise, et un certain nombre de routes n'ont pu atteindre leurs objectifs d'exploitation, ce qui a entraîné des conséquences économiques graves.

La leçon tirée est que le risque augmente lorsqu'on extrapole les tendances des années précédentes, en matière de climat et de glace, sur les opérations futures de routes de glace déjà existantes et de nouvelles routes de glace (voir Figure 4-4). On doit tenir compte de ce risque accru lorsqu'on développe diverses options de routes d'hiver.

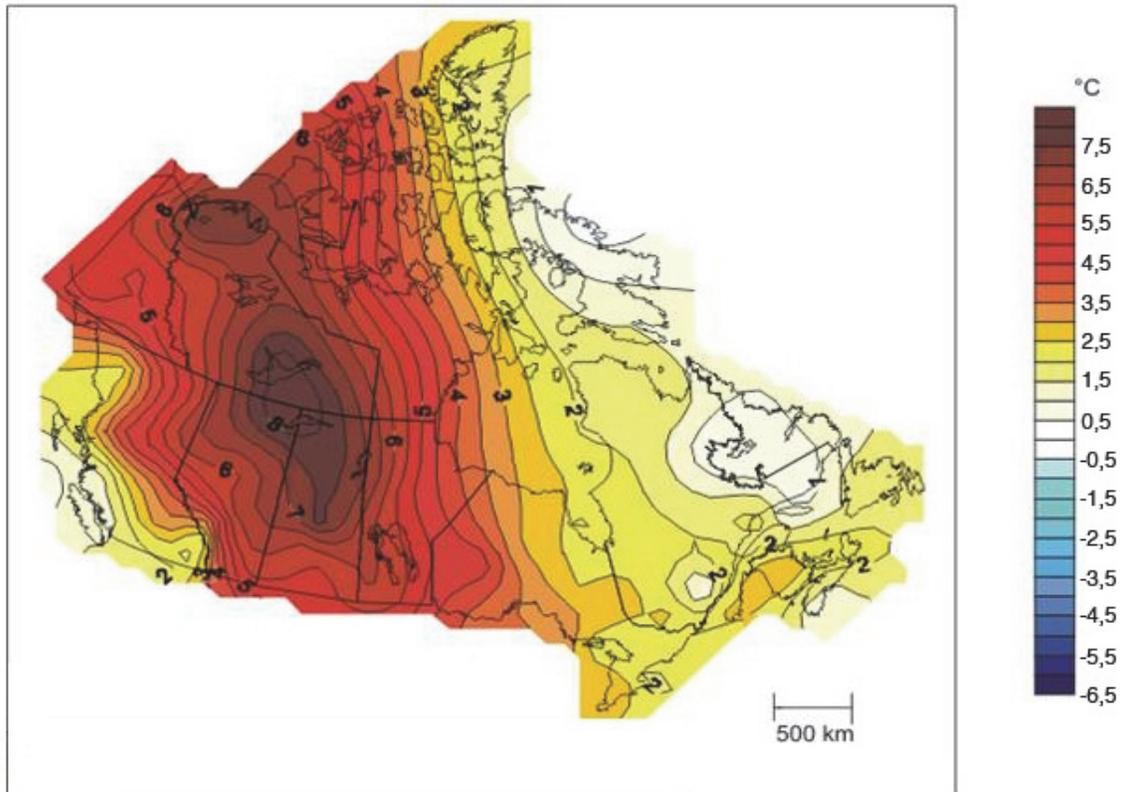


FIGURE 4-3 : Carte des températures hivernales plus chaudes que la normale au Canada à l'hiver 2005-2006 (selon la Division de la recherche climatologique d'Environnement Canada)

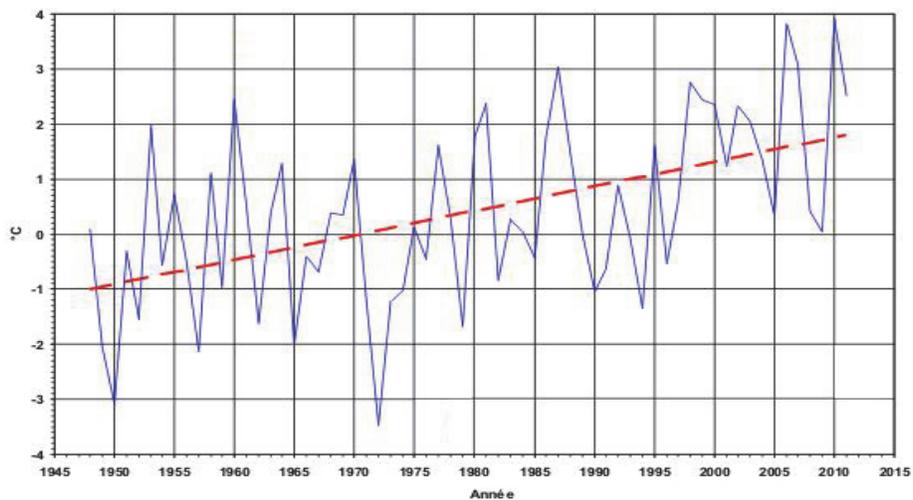


FIGURE 4-4 : Anomalies de la température par rapport à la normale entre 1951 et 1980. Les températures hivernales nationales sont demeurées plus chaudes que la normale depuis 1997 (selon la Division de la recherche climatologique d'Environnement Canada)

4.4 DÉVELOPPEMENT D'OPTIONS DE ROUTES D'HIVER

Une fois l'information des sections 4.2 à 4.4 recueillie, on étudie et on développe différentes options de routes d'hiver. Le choix préliminaire du type de route qui répondra aux exigences du projet souhaité (ampleur de la charge, type et nombre de véhicules) devra être effectué, et le type de route devra être adapté au choix du tracé routier. Les routes de neige compactée C1 peuvent habituellement être adaptées aux conditions locales du terrain et requièrent moins de préparation. Les routes de neige recouvertes de glace C2 nécessitent quant à elles des sources d'eau et de l'équipement additionnels. Les routes de glace sur terre C3 nécessitent un terrain relativement lisse, situé près d'une source d'eau. Le Tableau 4.1 fournit un point de départ qui permet d'assortir les types de routes d'hiver aux types et volumes de circulation en fonction du calendrier et de la période d'exploitation.

TABLEAU 4-1 : Types de routes d'hiver selon les exigences des projets

| Catégorie de route | Calendrier et période d'exploitation | Type et volume de circulation |
|---|--|---|
| C1 Routes de neige compactée | Route ouverte essentiellement dans une zone gelée en profondeur et recouverte de neige La période d'exploitation dépend de la durée de la couche de neige et du rendement du sol de fondation gelé. | Capacité portante la plus faible; le type de véhicules est fonction du compactage et de l'uniformité de la neige Volume de circulation le plus faible Le plus facilement adaptable aux conditions du terrain. |
| C2 Routes de neige recouvertes de glace | Ouverture plus tardive que pour les routes C1 en raison du temps supplémentaire requis pour inonder la route La période d'exploitation peut être plus longue que pour les routes C1 | Supportent des véhicules plus lourds et de plus forts volumes de circulation comparativement aux routes C1 |
| C3 Routes de glace | Ouverture plus tardive que pour les routes C2 Période d'exploitation comparable à celle des routes C2 | Supportent des véhicules plus lourds et de plus forts volumes de circulation comparativement aux routes C2 |
| C4 Routes de glace flottante | Calendrier plus tardif que pour les routes C1; la formation de glace est plus variable; la fin de la saison peut s'étendre au-delà de celle des routes C1 ou C2 | La capacité portante est directement reliée à l'épaisseur de glace minimale |

La Figure 4-5 présente un organigramme sur l'utilisation des chapitres 5 à 11 servant à développer de manière systématique des options de routes d'hiver.

Les planificateurs doivent développer une option principale ainsi que d'autres options de rechange. En effet, afin de faire face aux conditions météorologiques imprévues, l'entrepreneur chargé de la construction de la route d'hiver ou l'exploitant doit être prêt à adopter des plans qui répondent aux conditions au fur et à mesure qu'elles se présentent. Un entrepreneur de travaux routiers peut projeter de construire une route de neige compactée, choix qui aura été fait longtemps d'avance, pour s'apercevoir que le manque de neige rend le projet impossible. Plutôt que d'attendre et d'espérer plus de neige, l'entrepreneur doit disposer d'un plan de rechange qui prévoit plutôt une route de glace. Une gestion adaptative des activités sur le terrain est essentielle à la réussite des opérations.

Trop de neige, un sol gelé insuffisamment, une température trop chaude pour la saison ou pas assez de glace aux passages d'une rivière peuvent représenter des défis semblables. Des coûts de construction imprévus, des volumes de circulation modifiés ou des charges plus lourdes peuvent également obliger un entrepreneur à opter pour un autre type de route ou à mettre à niveau celle qu'il a déjà construite.

Du matériel additionnel – comme des camions de transport, un camion-citerne, des véhicules à chenilles légères et un équipement de pompage supplémentaire – peut sauver le projet en permettant le respect des délais critiques et la réduction du risque associé à la performance s'il est mobilisé rapidement. Figurent au Tableau 4.2 préparé par Adam (1978), certaines des options possibles pour les entrepreneurs de routes d'hiver lorsque les conditions les obligent à modifier leurs plans.

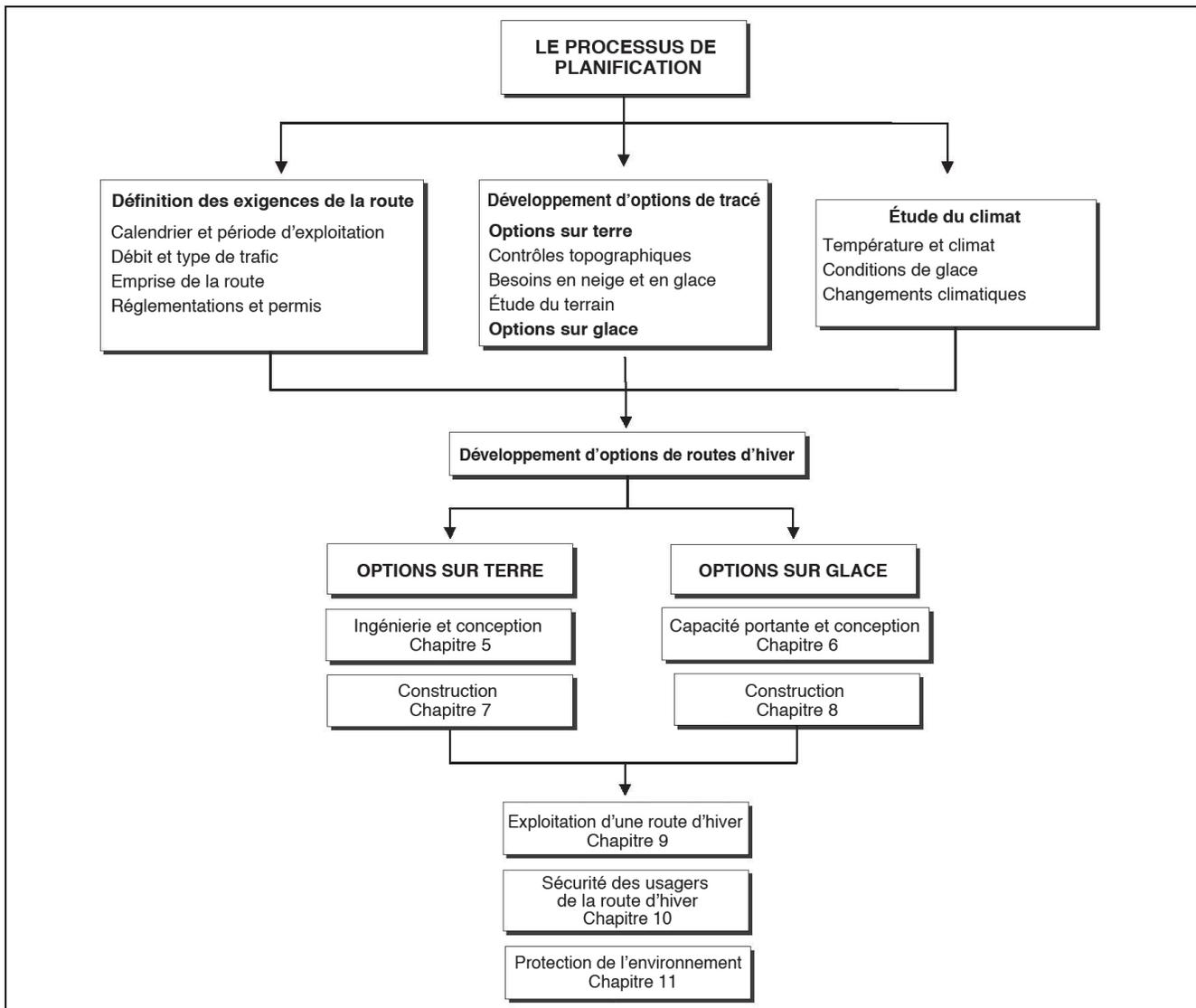


FIGURE 4-5 : Organigramme servant au développement systématique d'un projet de route d'hiver

TABLEAU 4-2 : Construction – Plan de contingence (amendé selon Adam 1978)

| Conditions | Plan de contingence |
|---|--|
| Il y a peu de neige, le sol n'est pas suffisamment gelé ou il y a peu de glace sur l'eau | On ne peut aménager de routes de catégories supérieures. Cependant, la relocalisation du tracé routier vers un terrain surélevé et l'utilisation de remblais de terre peuvent permettre à une route d'hiver d'être aménagée dans des zones sans pergélisol. |
| Il n'y a aucune neige, mais le sol est suffisamment gelé et il y a suffisamment de glace sur l'eau | Changer pour des routes de glace flottante et des routes de glace sur terre. Les routes de neige nécessiteront la fabrication de neige ou suffisamment d'accumulations pour les reconverter en routes de neige naturelle. |
| Neige suffisante, mais le sol n'est pas suffisamment gelé et il y a peu de glace sur l'eau | La pénétration de gel peut être accélérée en compactant la neige à l'aide de véhicules à chenilles légères. On peut favoriser la formation de glace aux passages des rivières et des cours d'eau en épandant de l'eau. |
| Il y a trop de neige, le sol n'est pas suffisamment glacé et il y a de la glace sur l'eau | La profondeur de gel peut être accélérée en compactant la neige à l'aide de véhicules à chenilles légères. Les routes aménagées sur un terrain surélevé peuvent nécessiter uniquement l'enlèvement de l'excès de neige à l'aide d'un tracteur à lame. Les routes de glace peuvent être remplacées par des routes de neige traitée et compactée. On peut favoriser la formation de glace aux passages des rivières et des cours d'eau en épandant de l'eau. |
| Il y a trop de neige, mais le sol est suffisamment gelé et il y a suffisamment de glace sur l'eau | Les routes de neige compactée peuvent être aménagées normalement si l'excès de neige est enlevé à l'aide d'un tracteur à lame ou s'il est compacté par des véhicules chenillés utilisés pour construire des routes de neige. L'excès de neige doit être enlevé aux passages des cours d'eau. |
| Il fait trop chaud, mais il y a suffisamment de neige, le sol est suffisamment gelé et il y a suffisamment de glace sur l'eau | Les routes de neige compactée peuvent être aménagées normalement même avec peu de neige laissée en place. La neige peut être compactée par des véhicules chenillés utilisés pour construire des routes de neige. Les routes de glace ou les routes de neige recouvertes de glace peuvent être converties en routes de neige compactée ou traitée. |
| Il y a peu d'eau disponible | La neige peut devoir être fondue afin de recouvrir de glace les routes de neige. Les routes de glace sur terre peuvent devoir être converties en routes de neige. |
| Les coûts de construction sont trop élevés | Le type de route initial peut devoir être changé pour une route de la catégorie inférieure, qui fera tout autant l'affaire et qui pourra supporter le trafic projeté. Elle peut devoir nécessiter une autorisation des autorités gouvernementales responsables. |
| La route ne peut supporter la circulation normale | La route peut être convertie en une route de la catégorie supérieure, qui pourra supporter le trafic, soit une route de neige compactée en une route de neige traitée ou en une route de neige recouverte de glace. Les routes de neige compactée peuvent être recouvertes de glace. |
| La route ne peut supporter des volumes anormaux de circulation ou des véhicules anormalement lourds | La route de neige peut être recouverte de glace et la route de glace peut être épaissie. |
| Des températures chaudes provoquent le dégel de la glace et affaiblissent la route | Les déplacements doivent être limités lorsque les températures chaudes risquent d'endommager la route. Par exemple, permettre la circulation de nuit uniquement ou réduire les limitations de masse. |

CE CHAPITRE EN BREF

- Une bonne planification est essentielle à une construction et à une exploitation réussies de tout type de route d'hiver; elle protège également les usagers et l'environnement.
- On doit définir les exigences de la route en tenant compte du calendrier et de la période d'exploitation, du volume de circulation, et des types de véhicules, de l'emprise de la route, et de la réglementation et des permis requis.
- Les options de tracé routier doivent tenir compte des contrôles topographiques, des besoins en eau et en neige et du terrain.
- Les conditions climatiques ne peuvent être ignorées, la construction tant des routes sur terre que des routes sur glace étant tributaire du niveau de trop-plein des lacs et des rivières, des gelées, des précipitations de neige et de l'état de la glace.
- On doit définir les exigences de la route en tenant compte du calendrier et de la période d'exploitation, du volume de circulation, et des types de véhicules, de l'emprise de la route, et de la réglementation et des permis requis.
- Les expériences passées ne sont plus garantes du rendement futur des routes.
- Des options de route sont développées en fonction des éléments ci-dessus et d'exigences précises en matière de conception, qui sont énoncées dans d'autres chapitres.

RÉFÉRENCES

Adam, K.M., 1978. *Construction et exploitation des routes d'hiver au Canada et en Alaska*, Études environnementales n° 4, Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada, Ottawa

Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie. 2009. FRANC NORD : Adaptation de l'infrastructure du Nord canadien au changement climatique. Ottawa: NRTEE.

Environnement Canada. 2010. Bulletin des tendances et des variations climatiques, Résumé de l'hiver 2010/2011. Consulté le 30 juin 2010.

Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J., et Bush, E., eds. 2008. *Vivre avec les changements climatiques au Canada* : édition 2007. Gouvernement du Canada, Ottawa, 448 pages.

Hayley, D.W et Proskin, S.A. 2008. *Managing the Safety of Ice Covers Used for Transportation in an Environment of Climate Warming*. 4^e Conférence canadienne sur les géorisques, Québec (Québec).

Association des transports du Canada. 2010. Lignes directrices de développement et de gestion des infrastructures de transport dans les régions de pergélisol.

CHAPITRE 5

CONCEPTION DES ROUTES SUR TERRE

5.0 CONTEXTE

Le présent chapitre sert de base à la conception des routes d'hiver sur terre, et se concentre sur la structure de surface et le sol de fondation requis pour supporter la charge des véhicules identifiés durant la phase de planification décrite au chapitre 4. Des indications supplémentaires sont fournies sur la géométrie des routes, y compris les dimensions des voies, les pentes maximales et les courbes verticales et de tracé en plan, afin de répondre aux exigences en matière de véhicules.

Il existe des similitudes entre la conception de routes d'hiver sur terre et la conception de routes tous temps. Elles consistent en la collecte de données de base durant la phase de planification (par ex., le volume et le type de circulation), l'examen de la topographie et du terrain, et l'étude des réglementations et des permis nécessaires. La conception de ces deux types de routes comprend la conception géométrique (courbure de tracé en plan, courbure verticale, pentes et largeur de voie) et la structure de surface basée sur les types de route sur terre décrits au chapitre 3 (route de neige compactée, route de neige recouverte de glace et route de glace).

Par ailleurs, il existe des différences importantes entre la conception de routes d'hiver sur terre et la conception de routes tous temps, qui portent principalement sur les exigences de conception, sur l'accumulation et la répartition de la neige et des sources d'eau, et sur le rôle que joue la congélation du sol. Tout comme pour les routes à usage saisonnier, les routes d'hiver sur terre sont des structures temporaires aménagées pour supporter un volume de circulation et des charges définis à l'avance et respecter un calendrier déjà établi. La conception de routes d'hiver exige en général que les routes soient :

- Ouvertes le plus tôt possible afin d'optimiser la période d'exploitation,
- Fonctionnelles le plus longtemps possible pour permettre le transport de tous les chargements prévus pour la saison, et
- Construites comme route d'hiver la plus économique possible pour les besoins du projet (types de véhicules, volume de circulation, environnement/permis).

APERÇU

- Contexte
- Conception des routes d'hiver
- Exigences en matière de structure de surface et de sol en fondation
- Géométrie de la route
- Leçons tirées de l'Alaska

Étant donné le volume limité du trafic routier sur les routes d'hiver et la courte vie utile de ces dernières, les problèmes de conception types des routes tous temps, tels que les pentes latérales, les pentes arrières, le drainage des fossés et la largeur des accotements, ne seront pas abordés.

Pour la plupart des routes d'hiver, les volumes de circulation quotidiens font qu'elles relèvent de la catégorie de routes à faible volume de circulation (moins de 500 véhicules par jour) (Retzlaff et al. 2007) et dont la période d'exploitation (vie utile) est de 50 à 90 jours.

Du point de vue de la construction proprement dite, l'accumulation et la répartition de la neige et des sources d'eau de même que l'étendue de la congélation du sol sont des questions à aborder. La neige constituant le matériau de construction principal pour les trois types de routes sur terre, sa disponibilité et sa répartition sont essentielles à la construction. Lorsque les besoins du projet dictent l'aménagement d'une route de neige recouverte de glace ou d'une route de glace, l'emplacement et la disponibilité de quantités suffisantes d'eau s'avéreront essentiels à la construction.

La profondeur de la pénétration du gel constituera un problème dans les régions où le sol non gelé (sol de fondation) ne peut en temps normal supporter le trafic routier décrit au chapitre 4. Ces régions ont habituellement un terrain doté d'importants dépôts de sols organiques ou de tourbières ou basses terres à sols fins avec une nappe phréatique qui se trouve près de la surface.

Les exigences en matière d'environnement et de permis peuvent également jouer un rôle dans le choix du type de route d'hiver; elles sont traitées au chapitre 11.

5.1 CONCEPTION DE LA ROUTE

La conception d'une route d'hiver est abordée en fonction du sol de fondation, de la structure de surface (chaussée) selon les types de route d'hiver C1 à C3, et de la géométrie de la route.

Dans les *Lignes directrices de construction et d'exploitation des routes d'hiver*, on définit le sol de fondation comme la surface du sol initial qui supportera les charges des véhicules réparties sur la structure de surface des routes d'hiver.

La structure de surface de la route (chaussée) est le matériau placé sur le sol de fondation pour répartir les charges concentrées des véhicules, pour fournir une surface de roulement lisse et uniforme, pour fournir une adhérence et résister à l'abrasion due à la circulation et pour être suffisamment robuste pour résister aux charges répétées du trafic pendant la saison.

La géométrie de la route tient compte de la largeur des voies, de la courbure de tracé en plan, de la courbure verticale et des pentes qui doivent permettre à la route de recevoir le type et le volume de circulation prévus pendant la période d'exploitation.

5.1.1 Conception basée sur le sol de fondation

5.1.1.1 Rôle de la profondeur de gel et de l'indice de gel

Tel que décrit au chapitre 4, l'indice de gel est la mesure de la durée et de l'étendue combinées des températures sous zéro pendant un hiver. Il est relié à la profondeur du gel dans les sols, facteur particulièrement important dans le cas des sols mous où la glace peut accroître considérablement la résistance de la fondation (Andersland & Ladanyi, 2004). Outre l'indice de gel, le couvert de surface, le manteau neigeux, le type de sol et la teneur en eau du sol ont une incidence sur la profondeur de gel. Celle-ci et le taux de pénétration du gel augmentent en présence des éléments suivants :

- Un sol dénudé comparativement à un sol recouvert de végétation (selon l'épaisseur et le couvert),
- Une mince couverture de neige légèrement compactée comparativement à une couverture de neige épaisse et compactée par le vent,
- Un sol à grains grossiers (sable et gravier) comparativement à un sol à grains fins (silt et argile), et
- Un sol sec comparativement à un sol plus humide.

On doit garder en tête ces lignes directrices générales lorsqu'on examine les tracés routiers éventuels traités au chapitre 4.

Au Canada, un lien empirique entre l'indice de gel et le début de la construction d'une route d'hiver repose sur l'énoncé suivant d'Adam (1978) : « La date moyenne de l'accumulation moyenne de 305° C-jours de gel donne une estimation de la date à laquelle la construction de la route peut commencer, cette quantité de gel étant requise pour fournir une base solide ». Il ne fournit aucune explication sur le rôle que jouent sur cette valeur le type de sol, le couvert de surface, le manteau neigeux ou la teneur en eau. Toutefois, avec un indice de gel de 305°C-jours et une gamme de propriétés des sols allant du sol organique au sable, la profondeur estimée de gel varie entre 30 cm pour les tourbières sèches à 100 cm pour le sable humide. Une profondeur de gel de 30 cm a été utilisée par d'autres comme règle empirique pour la pénétration de gel requise avant que ne commence la construction d'une route sur terre. Dans leur rapport sur les routes de neige nécessaires à la construction de pipelines en Alaska, Johnson et Collins (1980) recommandent le regel de la couche active à une profondeur de 30 cm avant d'aménager une surface de neige compactée destinée à l'usage des véhicules à faible pression au sol.

5.1.1.2 Estimation des charges admissibles pour un sol de fondation gelé

Dans le cas des routes d'hiver, les facteurs les plus importants qui ont une incidence sur la capacité portante du sol de fondation sont le type de sol et la présence de glace. Le type de sol et sa teneur en glace sont inter-reliés, la glace agissant comme agent de cimentation qui accroît la résistance au-dessus de celle d'un sol non gelé. Le système de classification unifié des sols (U.S.C.S.) est la façon standard de classer les sols lorsqu'il s'agit de relier la granulométrie et les propriétés caractéristiques au comportement mécanique. Dans le cas des routes d'hiver, l'U.S.C.S. peut être réduite en quatre catégories principales :

- Gravier : plus de 50 % des particules sont plus grossières que 4,75 mm et plus fines que 75 mm (les particules plus grossières que 75 mm seront considérées comme du gravier, s'il ne s'agit pas de substratum rocheux)
- Sable : plus de 50 % des particules sont plus grossières que 0,075 mm et plus fines que 4,75 mm
- Silt ou argile : plus de 50 % des granules sont plus fines que 0,075 mm, et
- Sol organique : plus de 50 % des granules sont organiques et contiennent une quantité négligeable de matières minérales.

Les observations générales suivantes portant sur l'effet de la glace sur la résistance du sol sont tirées de Kaplar (1971), d'Andersland et Ladanyi (2004), de Zhu et Carbee (1988), de Shoop (1993) et de Skudrzyk (1989) :

- La résistance de la glace augmente à mesure que les températures se refroidissent,
- La résistance du sable fin gelé peut augmenter jusqu'à six fois avant d'atteindre celle de la glace pure, avec une forte teneur en glace,
- Le silt gelé se comporte comme un matériau cohérent doté d'une résistance au cisaillement accrue,
- La résistance à la compression du sol organique gelé peut être cinq fois plus grande que celle du sol organique non gelé selon la teneur en eau et le contenu en matière végétale, et
- La résistance à la compression du gravier gelé peut augmenter de 1,5 fois avec des températures qui atteignent -5° C.

Ladanyi (1981) conclut que les sols gelés à faible teneur en glace se comportent comme les sols non gelés, mais lorsqu'ils ont une forte teneur en glace, leur comportement se rapproche de celui de la glace polycristalline. Entre ces deux extrêmes se trouve souvent un mélange optimal de sol et de glace où la résistance est à son comble. Richmond, Shoop, et Blaisdell (1995) ont observé que la résistance à la compression en fonction du temps d'un sol organique gelé est semblable à celle d'un sol minéral gelé et elle entre dans les limites du silt ou de l'argile gelé. L'effet général de la glace sur la résistance du sol de fondation est résumé au Tableau 5-1.

TABLEAU 5-1 : Effet de la teneur en glace sur la résistance du sol

| Type de sol | Teneur en eau/glace | Dépendance de la résistance sur la teneur en glace |
|--------------------|---------------------|--|
| Gravier | Faible Élevée | Peut augmenter de 1,5 fois |
| Sable | Faible Élevée | Peut augmenter de 6 fois |
| Silt | Riche en glace | Peut augmenter jusqu'à 6 fois |
| Argile | Riche en glace | Peut augmenter jusqu'à 5 fois |
| Sol organique | Sèche Humide | Peut augmenter jusqu'à 5 fois |
| Substratum rocheux | S. O. | La roche résistante n'est pas dépendante de la teneur en glace |

La façon la plus courante d'évaluer la capacité portante des sols de fondation gelés est proposée par Shoop (1995). Elle a développé un tableau ainsi que deux équations pour les sols mous, tels que les tourbières, dont la profondeur de gel est inférieure à 0,5 m. Ces deux équations reposent sur des données empiriques pour un sol mou à tendance sec, où la teneur en glace est faible, et pour un sol mou humide où la teneur en glace est élevée. Ces équations donnent la charge admissible P (en kg) pour une profondeur de gel donnée t (en cm) :

$$P = 3,6 t^2 \text{ pour un sol sec}$$

$$P = 8,6 t^2 \text{ pour un sol humide}$$

Il ressort que ces équations servent à évaluer la capacité de charge globale du sol de fondation car elles reposent sur la rupture et sont semblables à l'équation de Gold servant à évaluer la capacité portante de la glace flottante. Le rôle que joue toute structure de surface dans la répartition des pressions de contact des véhicules n'est pas pris en compte. Bien qu'il n'y ait aucune indication pour extrapoler les charges plus lourdes que 10 000 kg, ils font référence au travail d'autres experts qui suggèrent que les couches de sol organique gelé plus épaisses que 0,3 m peuvent supporter des véhicules plus lourds. Le tableau de capacités de charge proposé montre un tracteur chenillé Caterpillar D7H (d'une M.T.C. d'environ 21 500 kg) supporté par un sol de fondation gelé sur 0,5 m de profondeur.

Les équations de Shoop sont conservatrices et ne tiennent pas compte des véhicules de plus de 21 500 kg qui circulent sur les routes d'hiver aménagées sur terre au Canada. Comme elle le mentionne, il n'existe aucune autre donnée d'essai sur la profondeur de gel pour les véhicules de plus de 21 500 kg, bien que des super trains de type B pouvant atteindre 63 500 kg sont couramment déployés sur la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto (Hayley & Proskin 2008), et que la M.T.C. des véhicules circulant sur les routes d'hiver du Manitoba, atteigne 37 500 kg. Vu l'absence actuelle de données de terrain, nous ne pouvons formuler que des recommandations qualitatives quant à la capacité portante des sols gelés pour les véhicules excédant 21 500 kg.

Le tableau 5-2 sert de guide dans l'évaluation la capacité de charge des sols de fondation mous qui sont gelés jusqu'à une profondeur mesurée. Il s'agit d'une approche conservatrice qui adopte, pour les autres types de sol mous (silt/argile) dans le cas des véhicules de moins de 21 500 kg, les équations de Shoop développées pour les sols mous gelés. Dans le cas des véhicules de plus de 21 500 kg, une profondeur de gel minimale est recommandée pour chaque type de sol de même que l'obligation, pour l'exploitant de la route, de vérifier si le sol de fondation gelé peut supporter les charges des véhicules proposés. Dans la plupart des cas, cela s'effectue au moyen d'un essai de roulement sur la route à l'aide d'un équipement de moins de 21 500 kg, puis d'un essai de roulement à l'aide d'un équipement plus lourd, par incréments, jusqu'à ce que la charge des véhicules proposés soit atteinte. Il s'agit là d'une approche plus pratique que celle qui consiste à mesurer la profondeur de gel le long du tracé et de calculer la capacité de charge à l'aide des équations de Shoop.

TABLEAU 5-2 : Capacité de charge recommandée pour les sols de fondation mous et gelés

| Type de sol | Teneur en eau ou en glace | Capacité de charge (en kg et en cm) pour les véhicules de moins de 21 500 kg | Profondeur de gel requise pour les véhicules de plus de 21 500 kg |
|----------------|---------------------------|--|--|
| Sable fin | Élevée | $P = 8,6 \text{ t}^2$ | Normalement de 50 cm et vérification de la capacité de charge |
| Silt ou argile | Élevée | $P = 8,6 \text{ t}^2$ | Normalement de 50 cm et vérification de la capacité de charge |
| Sol organique | Sèche Humide | $P = 3,6 \text{ t}^2$ $P = 8,6 \text{ t}^2$ | Normalement de 75 cm et vérification de la capacité de charge Normalement de 50 cm et vérification de la capacité de charge |

5.1.2 Conception de la structure de surface de la route

La construction des structures de surface des routes d'hiver saisonnières – qui peuvent fournir une surface praticable nivelée qui répond aux exigences du projet quant aux types de véhicule, au volume de circulation et à la période d'exploitation – dépend de la neige ou de l'eau/ la glace. Les exigences en matière d'environnement et de permis peuvent également faire en sorte qu'on doive limiter les perturbations des terrains vulnérables.

La neige sert de matériau de construction; sa répartition et sa disponibilité sont donc des facteurs importants à considérer. Tel que mentionné au chapitre 4, des travaux empiriques ont démontré qu'une couverture de neige de 5 cm est requise pour amorcer le compactage, et de 10 cm à certains endroits pour préparer une surface capable de supporter la circulation routière.

5.1.2.1 Information de base sur la résistance des structures de neige/glace

Des recherches approfondies ainsi que des essais sur le terrain ont porté sur la qualité de la neige en tant que structure de surface des routes d'hiver (chaussée). Les méthodes les plus couramment utilisées pour mesurer la résistance de la chaussée sont les suivantes :

- Essai de capacité portante avec plaque – réalisé normalement en appliquant une charge constante sur une plaque et en surveillant le tassement avec le temps. C'est ce qui simule le mieux la charge par roue, mais il peut s'avérer long et nécessite de l'équipement lourd sur le terrain.

Le laboratoire de recherche et d'ingénierie sur les régions froides de la *US Army's Corps of Engineers* a réalisé une étude approfondie sur la construction des routes et des pistes d'atterrissage de neige, étude qui a été résumée dans la monographie d'Abele (1990). En effet, cette monographie contient un excellent résumé des éléments suivants : résistance de la chaussée de neige, façon de contrôler cette dernière et façon dont elle varie avec le compactage, la température et le temps.

- Essai de portance californien (CBR) – utilisé couramment pour évaluer la capacité des sols à supporter la charge des véhicules. Il s'agit d'un essai de pénétration d'un piston circulaire à vitesse constante pratiqué généralement sur un échantillon de sol trop petit pour que l'on obtienne des résultats probants pour de la neige humide. Tout comme l'essai de capacité portante avec plaque, l'essai CBR nécessite de l'équipement lourd ou un bâti de réaction. Cependant, il fournit un paramètre qui est en lien avec d'autres propriétés de résistance.
- Essais de compression non confinée – reposent sur des carottes représentatives (cylindres) de la neige prélevées sur le terrain et testées dans un cadre de chargement d'une chambre froide. De bonnes procédures d'échantillonnage et une extraction attentive sont requises pour obtenir des résultats fiables. Cependant, la résistance à la compression non confinée est le paramètre qu'il faut utiliser dans la conception, et
- Épreuve de dureté à l'aide d'un Rammsonde (pénétromètre à cône) – une méthode in situ pratique servant à mesurer la dureté de la neige (numéro RAM). Un cône métallique de dimensions précises, tel que montré à la Figure 5-1, est introduit dans la neige à l'aide d'un marteau d'une masse spécifique et d'une hauteur de chute donnée (Figure 5-2). La dureté Ram est calculée à partir du nombre de coups donnés pour une pénétration du cône donnée. Rapide et simple comparativement aux autres tests, cet essai a été beaucoup utilisé dans les études menées par le laboratoire de recherche et d'ingénierie sur les régions froides de la *US Army's Corps of Engineers* (CRREL), et un nombre de corrélations empiriques ont été développées entre cet essai et l'essai de compression non confinée et l'essai CBR.

Selon les principales constatations d'Abele (1990) relatives aux routes de neige, la désagrégation mécanique (traitement), la température, le vent et le rayonnement solaire sont tous des facteurs susceptibles de modifier la structure et la résistance de la neige. De plus, la résistance de la neige change naturellement avec le temps dans le cadre d'un processus dépendant de la température appelé durcissement par vieillissement ou frittage. À partir de ces observations, Abele (1990) a recommandé la méthode idéale pour optimiser le gain de résistance obtenu par durcissement par vieillissement, et qui consiste à :

- Traiter (désagréger mécaniquement) les premières neiges, et
- Les compacter lors de températures douces (de -5 à -10°C).

Une résistance accrue sera obtenue si les températures se refroidissent à la fin du processus de durcissement par vieillissement.

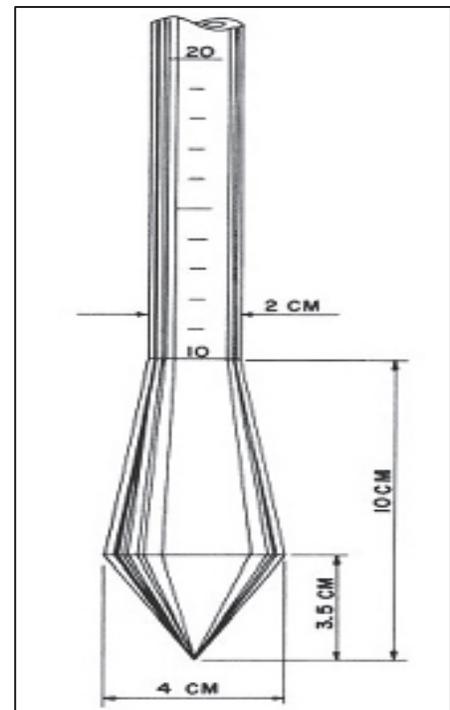


FIGURE 5-1 : Dimensions pénétromètre à cône Rammsonde (selon Abele 1990)

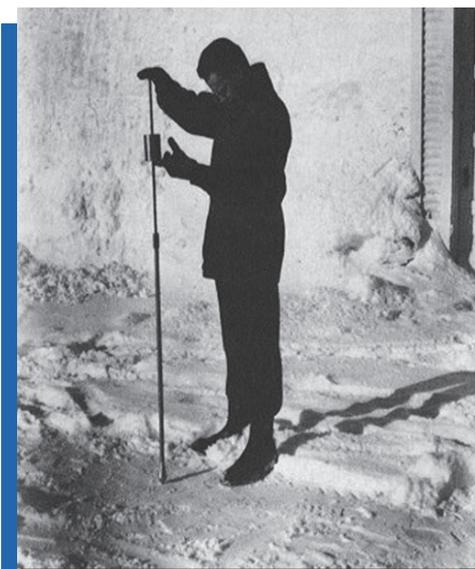


FIGURE 5-2 : Pénétromètre Rammsonde mesurant la dureté de la neige (selon Abele 1990)

À l'aide de ces techniques, la neige naturelle peut être compactée afin d'en accroître la densité jusqu'à 500 kg/m^3 avant qu'elle ne se stabilise. Le compactage n'est efficace que si l'épaisseur de la couche de neige est inférieure à 30 cm ou que si celle-ci est désagrégée mécaniquement pour atteindre cette épaisseur. Ces structures de neige peuvent supporter des pressions de contact au sol pouvant atteindre 500 kPa.

Dans le cas des structures de neige à haute résistance, Abele (1990) a résumé les recherches de Wuori (1963) sur les effets des méthodes de traitement et de compactage sur la résistance et la densité de la neige. Pour les véhicules avec des pressions de contact au sol supérieures à 500 kPa, Abele (1990) recommande une neige compactée et traitée d'une épaisseur d'au moins 50 cm. Le traitement d'une telle profondeur de neige nécessite l'utilisation de chasse-neige rotatifs ou de motoculteurs.

Un certain nombre de méthodes de compactage y sont décrites, dont celles à l'aide de rouleaux lisses compacteurs, de rouleaux à pieds de mouton et de rouleaux vibrants. Les épreuves de dureté à l'aide d'un Rammsonde, réalisées sur des sentiers d'essai, indiquent les effets suivants comparativement à une neige non perturbée compactée par une passe de rouleau vibrant :

- Le compactage à l'aide de trois passes d'un rouleau vibrant a accru la dureté de 1,5 à 2,5 fois,
- Le traitement seul a accru la dureté de la neige de 2,5 à 4 fois, et
- Le traitement de la neige et le compactage de celle-ci à l'aide d'un rouleau vibrant ont accru la dureté de 4 à 7 fois.

L'ajout d'humidité à la neige non seulement accroît la densité de celle-ci, mais peut également agir comme agent de cimentation qui lie les grains de neige ensemble. Abele (1990) cite les travaux d'Adam et de Wuori qui ont découvert que 2,5 cm d'eau créent une structure de neige/glace satisfaisante qui s'étend sur une profondeur de 10 à 20 cm. Selon Wuori (1963), une structure de neige recouverte de glace et construite en traitant et en compactant 30 cm de neige et en ajoutant à la surface 2 cm d'eau, devient une structure pouvant supporter une charge par roue de 22 500 kg et une pression de contact de 860 kPa.



FIGURE 5-3 : Tracteur D8 compactant la neige à l'aide d'un tambour ondulé (selon Abele 1990)

5.1.3 Recommandations sur l'évaluation de la capacité de charge

Bien qu'il n'existe aucune formule de conception pour calculer les propriétés de la neige ou de la glace requises pour que celle-ci serve de structure de surface, il existe des tableaux de conception. Wuori (1963) a développé un nomogramme qui sert à déterminer les propriétés requises d'une structure de surface en neige (servant principalement à l'atterrissage des avions sur des pistes de neige compactée) en entrant la pression de contact, la charge par roue et le nombre de passages de roues. Le concepteur doit ensuite vérifier la structure de neige/glace sur le terrain à l'aide d'essais au Rammsonde ou d'essais de compression non confinée.

Il peut aussi utiliser trois tableaux qualitatifs de conception qui ont été développés à l'aide de données empiriques. Johnson et Collins (1980) ont proposé un système de classification de la performance pour l'épaisseur de neige et cinq catégories de véhicules. Ce système prévoit des épaisseurs et des densités de neige minimales et recommande une méthode de construction routière, qui protège la végétation sous-jacente et qui fournit à la circulation routière une surface lisse et nivelée. Abele (1990) fournit un classement des chaussées de neige établi en fonction des pressions de contact des charges par roue; cependant, les qualificatifs servant à décrire la résistance de la chaussée sont arbitraires et ne sont reliés à aucun paramètre mesurable. Spencer et al. (2008) ont mis à jour les résultats obtenus sur le terrain par Wuori à l'aide d'un tableau sur la dureté de la surface de roulement de la toundra pour les charges par roue et les pressions de contact. Les résultats indiquent :

- La neige non traitée est limitée à des pressions de contact de moins de 280 kPa et à des charges par roue de moins de 1000 kg,
- La neige traitée et compactée à l'aide d'un tracteur à faible pression au sol peut supporter des charges par roue de 18 000 kg et des pressions de contact de 700 kPa, et
- La neige traitée et compactée avec l'ajout de 2 cm d'eau peut supporter des charges par roue de 22 500 kg et des pressions de contact de 860 kPa.

Les tableaux de conception de Johnson et Collins (1980) et de Spencer et al. (2008) sont résumés au Tableau 5.3 pour chaque catégorie de routes d'hiver sur terre. Le Tableau 5.3 repose sur des données de terrain obtenues principalement en Alaska et dans le cadre de recherches réalisées par la défense américaine. Les praticiens américains explorent l'utilisation d'équipements et de méthodes de traitement et de compactage de la neige à l'aide de mesures sur le terrain de la densité de la neige ou d'épreuves de dureté Ram, pour vérifier les propriétés de la surface de structure.

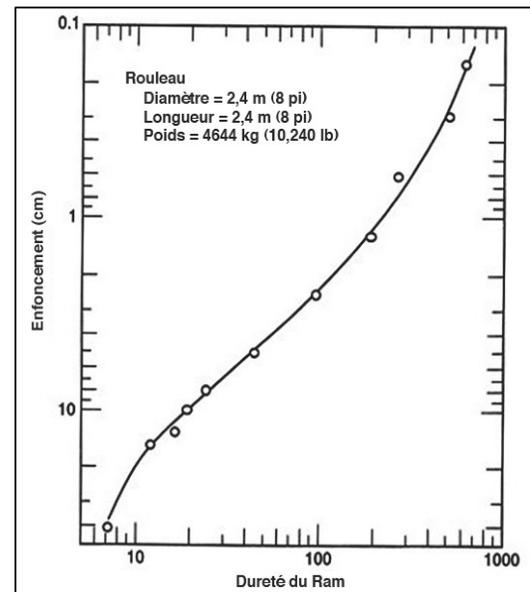


FIGURE 5-4 : Tableau qui indique comment la dureté de Rammsonde est reliée à l'enfoncement d'un tambour lors du compactage (selon Abele 1990)

Ils recommandent également, pour chacune des catégories, des données techniques sur les pressions de contact au sol et sur la charge individuelle maximale par essieu de même que sur des valeurs estimées de densité de la structure de surface, de dureté Ram et d'épaisseur de la structure. L'accent étant mis sur la protection de la toundra, la structure de la route comprendra une épaisseur additionnelle qui n'est pas nécessairement requise pour supporter le trafic routier. Comparativement aux pratiques canadiennes actuelles, les recommandations contenues au Tableau 5.3 sont relativement conservatrices.

Les routes d'hiver permanentes, situées dans les forêts boréales du Nord canadien, sont généralement aménagées en tant que routes d'hiver de catégorie C1c ou C2a. Les routes de catégorie C1c sont faites de neige compactée et nivelée généralement par incréments de 5 cm et, avec un sol de fondation gelé approprié, peuvent supporter des véhicules sur roues dotés d'une charge par roue de 8000 kg et d'une pression de pneu pouvant atteindre 700 kPa. Cependant, il n'existe pas de données techniques de conception sur la densité de la neige et sur la dureté Ram. Lorsqu'on doit accroître la capacité portante, les entrepreneurs convertissent souvent une route C1c en une route C2a en appliquant une couche d'eau et en la laissant geler. La performance de ces routes est bonne lorsque le terrain sous-jacent n'est pas vulnérable aux perturbations et lorsque les permis et les réglementations environnementales en vigueur permettent leur utilisation.

Des analyses de capacité de charge spéciales doivent être effectuées pour des applications qui nécessitent des pressions de contact plus élevées ou des charges par essieu plus grandes.

TABLEAU 5-3 : Capacité de charge de la structure de surface recommandée pour chaque catégorie de route sur terre

| Type de route | Catégorie | Type de véhicule | Pression au sol admissible (kPa) | Propriétés de la structure de surface type (minimales) | | | Remarques |
|------------------------------------|-----------|--|----------------------------------|--|------------|----------------|--|
| | | | | Densité (kg/m ³) | Dureté Ram | Épaisseur (cm) | |
| Route de neige compactée | C1a | Véhicules à faible pression au sol tels que les Nodwell, les Challenger, les tracteurs D7 et les véhicules à 4 roues motrices avec des pneus faible pression | 200 | 500 | 200 | 7,5 | Neige légèrement ou moyennement compactée |
| | C1b | Équipement léger dont la charge par essieu est inférieure à 3 600 kg | 400 | 550 | 500 | 7,5 | Neige moyennement compactée |
| | C1c | Équipement moyen dont la charge par essieu peut atteindre 8 000 kg | 700 | 600 | 700 | 5-10 | Neige très compactée |
| Route de neige recouverte de glace | C2a | Équipement lourd dont la charge individuelle par essieu peut atteindre 9 100 kg | 800 | 650 | > 800 | 15 | Neige moyennement compactée et recouverte d'eau |
| | C2b | Camion de construction ou autre équipement lourd avec une charge individuelle par essieu pouvant atteindre 18 000 kg | 800 | 800 | > 900 | 30 | Neige très compactée recouverte d'eau |
| | C3 | Camion de construction ou autre équipement lourd avec une charge individuelle par essieu pouvant atteindre 18 000 kg | 800 | 800 | > 900 | 15 | Inondée d'eau et gelée jusqu'à l'obtention d'une densité |

5.1.4 Géométrie de la route

Cette section fournit des recommandations générales sur la géométrie de la route afin que celle-ci puisse supporter le type et le volume de circulation prévus et qu'elle soit opérationnelle pendant toute la période d'exploitation. Dans le cas des routes d'hiver, les principaux facteurs dont il faut tenir compte en matière de conception géométrique, sont la largeur de l'emprise, la largeur des voies et la vitesse des véhicules. Étant donné la nature temporaire des routes d'hiver, la géométrie est dictée par la topographie naturelle.

Les largeurs minimales de l'emprise et des voies des routes d'hiver sont résumées au Tableau 5-4 et devraient être examinées en fonction de la configuration des véhicules prévus (les catégories de route d'hiver renvoient à celles figurant au Tableau 5-3), des besoins opérationnels (par ex., le stockage de la neige) et de la sécurité des usagers de la route. Les largeurs de l'emprise et des voies, inférieures à celles contenues au Tableau 5-4, peuvent être possibles pour les routes à usage limité au moyen de l'équipement approprié.

TABLEAU 5-4 : Largeur minimale recommandée de l'emprise et des voies des routes d'hiver

| Catégorie de route | Largeur de l'emprise (m) | | Largeur de l'emprise dans les angles et les courbes (m) | Largeur des voies (m) | |
|--------------------|--------------------------|---------------|---|-----------------------|---------------|
| | Sens unique | À double sens | | Sens unique | À double sens |
| C1a, C1b, C1c, C2a | 10 | 15-20 | >15 | 5 | 8 |
| C2b et C3 | > 10 m | >15 m | >15 | 5 | 10 |

Dans le cas des véhicules à roues, les pentes longitudinales doivent être inférieures à 8 %, à l'exception de courtes sections de moins de 100 m. De courtes pentes de 10 à 12 % ont été intégrées aux routes d'hiver. Les pentes transversales doivent être inférieures à 2 %. Des pentes plus raides sont autorisées pour les véhicules chenillés.

La courbure maximale de la route dépend du terrain, des lignes de visée et de la traction sur la route. Les limites de vitesse des véhicules dans les courbes devraient être affichées au besoin.

On doit éviter autant que possible les pentes courtes et abruptes. On peut améliorer les pentes verticales à l'aide de remblais de neige, mais ceux-ci doivent être placés/compactés correctement, et contrôlés et entretenus.

5.2 LEÇONS TIRÉES DE L'ALASKA

Des recherches approfondies ont été entreprises pour concevoir et aménager, sur le versant nord de l'Alaska, des routes d'hiver sur terre qui ne perturberont pas la toundra qui est si fragile. Selon les premières normes en Alaska, les travaux de construction d'une route d'hiver pouvaient commencer sur la toundra fragile lorsqu'il y avait 15 cm de neige et 30 cm de sol gelé (Byrne et Schultz, 2006). À l'aide d'un pénétromètre à marteau à inertie – soit le même outil utilisé par le ministère des Transports pour évaluer les sols de fondation – on déterminait la profondeur de gel.

Bader (2005) et Bader et Guimond (2006) ont effectué une étude qui a mené au développement de nouvelles normes d'ouverture de routes sur la toundra sur le versant nord de l'Alaska. La construction de routes sur la toundra peut commencer sur la plaine côtière dès qu'une profondeur de neige de 15 cm est atteinte et que la température du sol à une profondeur de 30 cm est inférieure à -5°C . Il en va de même pour la région plus fragile des contreforts; 23 cm de neige et une température du sol de -5°C à 30 cm étant maintenant requis. Ces nouvelles normes prolongent la saison de déplacement sur la toundra et offre une protection accrue à cette dernière (Bryne et Schultz, 2006).

Pour les routes de glace sur terre d'Alaska, on utilise souvent des copeaux de glace (agrégats) extraits de lacs avoisinants dans les régions où la neige est rare (Campbell 2009). La glace est extraite des lacs à l'aide de tracteurs équipés de défonceuses. Les copeaux sont ensuite transportés et déversés progressivement sur place; la surface est tassée, et une fine couche d'eau est ajoutée pour cimenter les copeaux de glace afin d'obtenir une surface plane. Les routes d'agrégats de glace sont tout indiquées pour les terrains accidentés plutôt que de construire une route de glace en inondant la surface. Les copeaux de glace peuvent également être déversés sur la surface du sol non perturbée afin d'empêcher le trafic routier de circuler sur les terrains fragiles.

Frankenstein et Koenig (2004) ont développé un programme pour concevoir des routes d'hiver sur terre destinées aux véhicules de l'armée américaine. Ce programme prévoit l'entrée d'un certain nombre de paramètres relatifs au sol et aux véhicules pour calculer les paramètres thermiques et mécaniques du sol nécessaires à l'évaluation de la mobilité des véhicules. On devrait évaluer ce programme en regard de l'expérience canadienne pour déterminer s'il convient à nos routes d'hiver.

CE CHAPITRE EN BREF

Les routes d'hiver sur terre dépendent du sol de fondation gelé pour supporter la charge des véhicules et de la structure de surface de neige/glace pour répartir celle-ci et pour offrir une surface de roulement satisfaisante. Des équations empiriques sont fournies pour évaluer la profondeur de gel requise. Un tableau de conception empirique est présenté aux utilisateurs afin qu'ils puissent choisir la structure de surface de neige/glace appropriée (catégorie de routes sur terre) qui répondra aux besoins en matière de charges des véhicules.

RÉFÉRENCES

Abele, G., 1990. *Snow Roads and Runways*, US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Special Report 90-03, 1990.

Adam, K.M., 1978. *Construction et exploitation des routes d'hiver au Canada et en Alaska*, Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada, Direction générale de l'environnement du Nord, Études environnementales n° 4, Ottawa

Andersland, O.B., and Ladanyi, B. 2004. *Frozen ground engineering*. 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Bader, H.R. 2005. *Tundra travel research project: Validation study and management recommendations*. Report to Alaska Department of Natural Resources, 20p.

Bader, H.R., and Guimond, J., 2006. *Alaska North Slope tundra travel model and validation study, Final report*. Alaska Department of Natural Resources, 275p.

Campbell, B. 2009. *Roads to resources paved with ice: construction, maintenance, travel times standardized*. Alaska Business Monthly, consulté en ligne le 25 août 2010.

Byrne, L.C. and Schultz, G. 2006. *Recommended methods of ice road construction based on analysis of disturbance to vegetation and active layer*, Présentation.

Frankenstein, S. and Koenig, G.G. 2004. *Fast All-season soil strength (FASST)*. US Army Corps of Engineers, ERCDC/CRREL SR-04-01.

Hayley, D., et Proskin, S., 2008. *Managing the Safety of Ice Covers Used for Transportation in an Environment of Climate Warming*. 4^e Conférence canadienne sur les géorisques, Québec (Québec).

Johnson, Philip R., and Collins, Charles M., 1980. *Snow Pads Used for Pipeline Construction in Alaska, 1976. Construction, Use and Breakup*. CRREL Report 80-17.

- Kaplar, C.W. 1971. *Some strength properties of frozen soil and effect of loading rate*. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire,
- Ladanyi, B. 1981. *Mechanical behaviour of frozen soils*. In Proceedings International Symposium on Mechanical Behaviour of Structured Media, Volume B: 205-245.
- Retzlaff, H. Kent, S., Podborochynski, D., and Kraec, J. 2007. *Guidelines for upgrading low volume roads in Saskatchewan*, article présenté au Congrès et expositions annuels 2008 de l'Association des transports du Canada. Consulté le 18 août 2010.
- Richmond, P.W., Shoop, S.A., and Blaisdell, G.L., 1995. *Cold Regions Mobility Models*. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, CRREL Report 95-1.
- Shoop, S.A., 1995. *Vehicle bearing capacity of frozen ground*. Revue canadienne de géotechnique 32: 552-556.
- Skudrzyk, F. 1989. *Strength characteristics of frozen Fox gravel*. Journal of Cold Regions Engineering, 3(2): 97-106.
- Spencer, P.A., Strandberg, A.G., and Maddock, W.A., 2008. *Ice and tundra load design for module transport*. Paper No. ICETECH08-167-RF.
- Wuori, A.F. 1963. *Snow stabilization studies*. In *Ice and Snow*, edited by W.D. Kingery, MIT Press, Cambridge, MA.
- Zhu, Y. and Carbee, D.L. 1988. *Triaxial compressive strength of frozen soils under constant strain rates*. Travaux présentés lors de la 5^e Conférence internationale sur le pergélisol, Trondheim, Norway, pp. 1200-1205.

CHAPITRE 6

INGÉNIERIE DES ROUTES SUR GLACE

6.0 INTRODUCTION

Les routes sur glace ont été beaucoup utilisées dans le cadre des réseaux routiers d'hiver pour traverser les lacs (routes de glace) et les rivières (ponts de glace) pendant les mois d'hiver. L'utilisation de la glace comme matériau de construction est rentable, et les routes sur glace laissent une empreinte minime sur l'environnement.

Les routes sur glace peuvent soit flotter en eaux profondes (glace flottante), soit reposer sur le sol sous-jacent (glace ancrée sur le fond). La capacité portante de la glace flottante provient de la flottabilité et de la résistance à la flexion de la glace. Dans le cas de la glace ancrée sur le fond, la plupart de la charge est supportée par la réaction du sol sous-jacent. Le présent chapitre porte essentiellement sur la détermination de la capacité portante des couvertures de glace flottante et sur l'identification des aléas associés à ces dernières et des divers contrôles disponibles pour réduire le risque de rupture.

La section 6.7 traite de la formation en matière de sécurité sur la glace et du développement d'un programme de contrôles de la glace liés à la sécurité (IMSP) qui doit être inclus dans le processus de planification. Un contrôle adéquat augmente la sécurité sur la glace et constitue un élément essentiel d'un plan de gestion du risque.

6.1 LIMITATIONS

Les lignes directrices relatives à la capacité portante de la glace, contenues dans le présent chapitre, sont basées sur de l'information publiée et sur l'expérience acquise dans le domaine des couvertures de glace d'eau douce. D'autres conditions relatives aux couvertures de glace ne sont pas traitées dans le présent chapitre. Celles-ci exigent la collaboration d'un ingénieur professionnel d'expérience dans le domaine de la mécanique des glaces. Figurent entre autres parmi ces autres conditions :

- Les charges sur des couvertures de glace de mer ou sur de la glace contenant des matières dissoutes (autre que de l'eau douce)
- Les charges sur les couvertures de glace flottante des bassins d'eau industrielle (par ex., des bassins de résidus)
- Les véhicules avec plus de 8 essieux et une M.T.C. de plus de 63 500 kg ou des M.T.C. excédant la charge permise sur les routes, et
- Des véhicules qui ont une charge dynamique ou de vibration importante, tels que des tracteurs chenillés lourds dotés de traverses de chenille en acier.

6.2 GESTION DU RISQUE POUR LES VÉHICULES CIRCULANT SUR DE LA GLACE FLOTTANTE

La gestion du risque est une façon systématique d'identifier les aléas, d'évaluer le risque qui y est associé et de déterminer les mesures de contrôle ou d'atténuation requises pour abaisser le risque à des niveaux acceptables. La tolérance au risque signifie la disposition à vivre en présence d'un danger en vue de sauvegarder les avantages qu'offre une route d'hiver, et la confiance en un contrôle adéquat des aléas.

La glace flottante peut s'être formée naturellement ou avoir été épaissie en inondant artificiellement la surface en vue d'obtenir une épaisseur de glace et une capacité de charge accrues. Toutefois, ces deux méthodes comportent une variété de défauts intrinsèques (fissures) et de faiblesses éventuelles (poches d'eau et d'air). Pour la glace, on doit bénéficier d'une marge de sécurité plus grande que, par exemple, pour une structure d'acier ou de béton, tous deux des matériaux dont les propriétés sont contrôlées de près. L'utilisation de la glace comme matériau de construction pour aménager des routes sur glace flottante présente un risque de rupture. Ce risque doit être géré pendant toute la durée du projet soit en éliminant les aléas, soit en mettant en œuvre des contrôles administratifs et d'ingénierie appropriés ainsi que l'utilisation d'un équipement de protection individuel (EPI).

La gravité de la rupture d'une couverture de glace est fonction de la profondeur de l'eau, de la force des courants et du type d'équipement. Sur de la glace ancrée sur le fond, il peut s'agir d'un simple déplacement vertical local qui résultera en un court retard conjoncturel pour lequel le risque de perte de vies humaines et d'équipement sera très faible. La rupture d'un pont de glace peut être beaucoup plus grave qu'une rupture de la couche de glace sur un lac en raison du danger supplémentaire que représente le fait que le personnel et l'équipement peuvent être emportés par les courants. Des essais sur le terrain réalisés par Giesbrecht et McDonald (2010) démontrent qu'un véhicule transportant des passagers peut flotter environ une minute avant de commencer à couler alors que le matériel de chantier est submergé sur-le-champ. Les occupants peuvent sortir facilement d'un véhicule (en moins de 60 secondes) pendant qu'il flotte encore. Les chances de survie de l'occupant d'un véhicule rempli d'eau et qui a coulé au fond sont très minces.

On doit d'abord identifier, comprendre et contrôler les aléas possibles afin de bien gérer le risque d'un incident sur la glace. Les aléas les plus graves sur une route de glace sont une glace mince, une glace fragilisée et une glace fissurée, toutes des conditions qui peuvent causer une rupture de la glace et entraîner éventuellement des pertes de vie et/ou d'équipements. Les autres dangers possibles sur les routes de glace consistent en une sortie de route, en des collisions dues à une visibilité réduite, en des surfaces glissantes et en la fatigue des conducteurs, tous des dangers que présentent des routes normales. Le présent chapitre traite uniquement du risque de rupture de la glace flottante.

Hayley et Proskin (2008) traitent des procédures servant à l'estimation de la capacité portante de la glace, qui augmentent les charges que les véhicules peuvent transporter. Pour contrer le plus grand risque associé aux charges lourdes, un contrôle et des pratiques opérationnelles supplémentaires ont été intégrés en vue de réduire le risque de rupture.

6.3 CONSIDÉRATIONS EN MATIÈRE DE PLANIFICATION

6.3.1 Choix du tracé routier sur les lacs, les étangs et les rivières

Le chapitre 4 traite en détail de la planification des routes d'hiver, mais les facteurs suivants doivent être pris en compte à l'étape de planification, lorsque de la glace de lac est utilisée pour le tracé de la route :

- L'accès à la surface de glace du lac. Il doit s'agir d'un tracé qui soit acceptable d'un point de vue technique et environnemental. On doit trouver une solution acceptable qui tient compte de la transition entre la glace flottante et la glace ancrée sur le fond et la route sur terre (portage). On s'attend à ce que des fissures se créent entre la glace flottante et la glace ancrée sur le fond lorsque celles-ci sont soumises aux charges des véhicules. Si possible, la route doit croiser la rive à un angle supérieur à 45° afin de permettre à l'onde hydrodynamique générée par le trafic sur la glace de se réfléchir loin de la rive et de la traverse de glace.
- La profondeur de l'eau le long de la traverse de lac choisie. Un fond marin accidenté dû à des hauts fonds et à des bancs de sable imprévus peut causer des fractures dans la couche de glace du lac et doit être évité dans la mesure du possible.
- La profondeur d'eau globale le long du tracé. Un tracé qui suit en continu l'eau profonde s'avère souvent la solution la plus efficace, notamment dans le cas des charges lourdes qui nécessitent des limites de vitesse importantes en vue de gérer les tassements de la glace provoqués par les effets dynamiques dans la glace et dans l'eau, et
- Le planificateur doit réviser les tracés qui ont été utilisés par la population locale dans le passé et examiner les photographies aériennes afin de détecter les endroits où il est difficile de naviguer. Les chenaux de séparation et les crêtes de pression ont tendance à se reformer aux mêmes endroits chaque année.

6.3.2 Caractéristiques des véhicules

La conception d'une route de glace repose sur l'importance de la charge qu'elle doit supporter et sur la répartition et la durée de celle-ci. Si l'une de ces trois variables change (par exemple, en raison d'exigences opérationnelles), la conception de la route doit être réévaluée. Bien que les masses totales en charge puissent être évaluées à partir de l'information fournie par le constructeur automobile, la charge réelle peut également comprendre le carburant, le matériel et les accessoires. Les pesées routières constituent la meilleure façon d'obtenir la masse exacte du véhicule.

La répartition des charges est fonction à la fois de la configuration des véhicules et de la distance entre les véhicules. La configuration des véhicules tient compte de l'espacement entre les essieux et de leur charge individuelle. Hayley et Proskin (2008) font remarquer que la configuration des véhicules transportant des charges utiles a évolué depuis que Gold (1971) a développé ses tableaux sur la capacité portante de la glace. Les camions tandem à gravier étaient alors plus courants sur les routes d'hiver. Ils ont été remplacés depuis par des tracteurs-remorques à six, à sept et à huit essieux, légers sur les routes. Les anciens tableaux sur la capacité portante de la glace ne tiennent pas compte de ces changements. Cependant, une analyse des contraintes limites de la glace peuvent tenir compte des configurations des

véhicules. Une distance adéquate doit être respectée entre les multiples déplacements de véhicules sur des traverses de glace afin de prévenir la superposition des contraintes induites par les véhicules sur la couverture de glace. Dans le cas des véhicules légers (de moins de 5000 kg), le créneau entre chacun doit correspondre à 200 fois l'épaisseur de la glace. Dans le cas des véhicules lourds (de 5000 à 40 000 kg), il doit correspondre à 500 fois l'épaisseur de la glace. Si l'étendue d'eau est inférieure à ces limites, alors on ne peut autoriser qu'un seul véhicule à la fois sur la couverture de glace.

Il existe une différence fondamentale entre le comportement d'une couche de glace soumise à des charges vives (charges à court terme) et d'une couche de glace soumise à des charges mortes (charges à long terme). Le présent chapitre souligne la conception des routes de glace soumises à des charges mobiles. Les dangers possibles, voire même une rupture de la glace, associés au stationnement ou aux pannes de véhicules et/ou d'équipements sur les routes de glace seront traités à la section 8.7 du chapitre 8. La masse de la neige n'est en général pas inclus dans la conception.

6.4 COUVERTURES DE GLACE D'EAU DOUCE

6.4.1 Types et solidité de la glace

Les routes de glace sont faites de glace flottante et de glace ancrée sur le fond. La glace flottante tire sa capacité portante de la flottabilité et de la résistance à la flexion de la glace. Quant à la glace ancrée sur le fond, elle tire sa capacité portante de la résistance combinée de la couche de glace et du sol sous-jacent sur lequel elle repose. Les conséquences d'une rupture de la glace ancrée sur le fond sont moins graves que celles en eaux profondes où le matériel peut être perdu et où des vies sont mises en danger. En temps normal, la glace ancrée sur le fond peut porter des charges plus lourdes que la glace flottante.

Le type de glace est déterminé en fonction de la façon dont la glace a été faite, ce qui a une incidence sur la résistance, la variabilité et la qualité de la couverture de glace. À des fins de capacité portante, les deux types les plus courants de glace d'eau douce sont la glace bleue (noire) et la glace opaque. La glace bleue croît en profondeur sur les lacs et les rivières (dont les courants sont lents) une fois que la couverture principale initiale de glace s'est formée. Sur les lacs, la glace bleue tend à être de qualité uniforme et à avoir une résistance constante. Lorsque la rivière présente de forts courants, la résistance et l'épaisseur de la glace bleue tendent à varier davantage que la glace de lac. Quant à la glace opaque, elle se forme lorsque l'eau inonde, de manière naturelle ou artificielle (par ex., par épandage d'eau), la surface de glace naturelle. La glace opaque varie plus souvent et est de moins bonne qualité que la glace bleue en raison de la présence de neige, de poches d'air et d'eau non gelée. Cependant, un personnel qualifié et de bonnes pratiques peuvent générer une glace par épandage d'eau, comparable à la glace bleue d'eau douce quant à la résistance et à l'uniformité. Le Tableau 6-1 décrit l'épaisseur de glace et la résistance des différents types de glace alors que le Tableau 6-2 décrit les types spéciaux de glace de rivière.

La couverture de glace des tourbières ou la profondeur de gel (profondeur à laquelle le sol organique est bien fixé par la glace) représente un défi plus grand parce qu'elle peut être négligée. La profondeur de gel dépend de la température de l'air, de la composition/profondeur du sol organique ou du sol minéral, de la profondeur de la nappe phréatique et du couvert végétal.

La résistance du sol organique saturé et gelé dépend de la composition de cette dernière, de sa teneur en eau et de la température. La glace à la surface des tourbières peut également être modifiée par des sources minérales et par la génération de méthane. Aussi, de tels secteurs sont à éviter.

Les pratiques de gestion du risque doivent tenir compte non seulement de l'épaisseur de la glace, mais aussi de la qualité de cette dernière. Une glace de lac d'eau douce fiable peut supporter de plus grandes charges grâce à de bonnes données sur le contrôle des glaces et à des contrôles opérationnels de haut niveau. Des charges réduites peuvent devoir être déployées sur de la glace inondée de manière naturelle, où la résistance et la qualité de la glace sont moins constantes.

TABLEAU 6-1 : Types de glace et leur variabilité* **

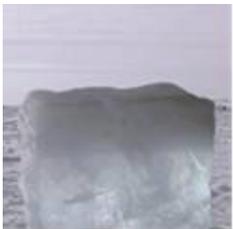
| Type de glace | Épaisseur de glace | Résistance |
|---|---|---|
|  Glace (bleue) de lac d'eau douce | Faible variabilité | Qualité uniforme de la glace Résistance accrue |
|  Rivière (glace bleue) | Variabilité moyenne à élevée Plus sujette à perdre son épaisseur sous la glace, en faveur des courants | Résistance plus variable |
|  Glace (opaque) inondée naturellement ou par débordement | Variabilité élevée Possibilités plus élevées de poches d'eau | Résistance variable Teneur en air plus élevée |
|  Glace fabriquée par épandage d'eau | De bonnes pratiques permettent de fabriquer une glace uniforme | Uniformité et qualité qui dépendent des méthodes de construction |
|  Glace à la surface des tourbières | Variabilité élevée | Résistance qui dépend de la chimie de l'eau glacée et de la température Profondeur de gel qui dépend de la température de l'air, de la composition/épaisseur du sol organique et du couvert végétal. Nécessite des analyses spécialisées et une enquête sur les conditions de glace |

TABLEAU 6-2 : Types spéciaux de glace de rivière

| Type de glace | Description |
|---|--|
|  Frail (bouillie de glace) | Glace faite de particules en forme de disques qui se forment et se solidifient dans des eaux agitées. Peut être un composant important de la couverture de glace. |
|  Embâcle | Accumulation de glace qui se forme souvent sur les rivières ou les cours d'eau. L'embâcle survient lorsque les courants transportent des morceaux de la couverture de glace jusqu'à un endroit où ces derniers s'amoncellent et gèlent pour former une couverture de glace très rugueuse et épaisse. |

6.4.2 Fissures dans la glace

On retrouve des fissures sur toutes les couvertures de glace soumises aux mouvements durant la formation de la couverture de glace et l'épaississement de la glace. Les huit mécanismes les plus courants susceptibles de causer des fissures dans la glace sont :

- La contraction thermique de la glace (refroidissement des températures, crêtes de pression et expansion thermique lors du réchauffement de la température)
- Les charges de neige
- Les charges dues au vent
- Les changements dans les niveaux d'eau
- Les ondes dynamiques
- Les écarts dans l'épaisseur et la flottabilité de la glace, et
- Les charges excessives.

On entend par charges excessives des charges trop lourdes pour les glaces flottantes et qui excèdent la résistance disponible de la glace. Des études sur le terrain ont démontré que le fait de surcharger graduellement une couche de glace entraîne trois stades de fissuration : des fissures radiales, des fissures circonférentielles, et des fissures radiales et circonférentielles contiguës.



FIGURE 6-1 : Fissures radiales et circonférentielles qui se forment sous un véhicule

On observe que les fissures radiales, semblables aux rayons d'une roue, prennent naissance sous une charge. Elles se forment généralement à mi-chemin environ de la charge de rupture. Elles indiquent que la glace est surchargée et que la charge doit être déplacée sur-le-champ.

Les fissures circonférentielles sont celles qui forment un cercle autour de la charge, non loin d'elle. Elles indiquent qu'une charge est sur le point de provoquer une rupture de la glace et que le personnel doit être évacué du site. Les fissures radiales et circonférentielles contiguës forment des pointes de tarte sous la charge. Elles indiquent qu'il y a rupture de la glace et que la charge peut s'enfoncer à tout moment. Bien qu'une glace plus épaisse puisse fournir un certain délai d'avertissement, une glace plus mince peut traverser très rapidement ces trois stades. Voilà pourquoi on ne peut se fier aux fissures radiales pour un délai d'avertissement.

Les autres types de fissures à reconnaître sont : les fissures longitudinales, les fissures dans les bancs de neige, les fissures de contraction thermique, les crêtes de pression, les fissures d'onde dynamique et les fissures en charnière.

On repère souvent les fissures longitudinales dans le sens des déplacements sur les routes de glace dotés, de chaque côté, de bancs de neige. La glace sur la route est beaucoup plus épaisse que la glace sous les bancs de neige. La glace plus épaisse au centre tend à augmenter en raison de sa flottabilité accrue tandis que la glace sous les bancs de neige tend à s'enfoncer en raison de la charge imposée par ces derniers. Cela entraîne une courbure vers le haut de la couverture de glace, qui atteint un maximum au centre de la route dégagée. Les fissures longitudinales se forment lorsque cette courbure vers le haut excède la résistance de la glace. Dans la plupart des cas, les fissures ne sont pas assez profondes pour créer un risque de rupture. On doit souvent les réparer pour prévenir qu'elles ne se creusent. Dans certaines zones, plusieurs fissures longitudinales peuvent se recouper pour former un morceau de glace polygonal. Dans des conditions propices, ce morceau peut surgir. Tout comme pour les nids de poule sur une route normale, il peut représenter un danger et causer des dommages aux véhicules.



FIGURE 6-2 : Tracteur D10 de Caterpillar qui s'enfonce dans une fissure circonférentielle



FIGURE 6-3 : Fissures longitudinales qui se retrouvent souvent dans le sens des déplacements

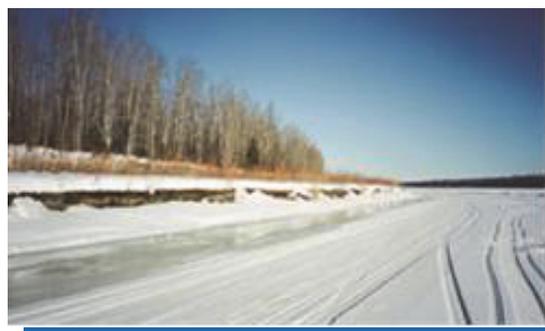


FIGURE 6-4 : Fissures humides et débordement le long de bancs de neige

Les fissures dans les bancs de neige sont celles qui se développent sous les bancs de neige, de chaque côté de la route de glace. La glace qui se trouve sous ces bancs est isolée et est plus mince que la glace dégagée. Ces fissures se forment lorsque la couche de glace plus mince se déforme sous la charge des bancs de neige. La plupart de ces fissures se forment de bas en haut. Elles peuvent devenir des fissures humides si elles s'étendent jusqu'à la surface de la glace et permettent à l'eau de déborder sur la surface. La formation de flaques d'eau est parfois évidente ou de glace opaque sous les bancs de neige. On doit interdire aux véhicules de circuler trop près de ces bancs.

Les fissures de contraction thermique surviennent, quant à elles, lorsque la glace s'amenuise en raison d'une baisse de la température de l'air. Ces fissures sont normalement réparties au hasard à la surface de la glace et sont très espacées les unes des autres. L'enlèvement de la neige tend à favoriser ce type de fissures parce qu'il expose directement la surface de la glace aux chutes de température de l'air. Bien que ces fissures soient habituellement superficielles et sèches, elles doivent être contrôlées et réparées si elles deviennent plus profondes en raison d'autres refroidissements ou de charges supplémentaires. Elles peuvent traverser l'épaisseur de glace et se remplir d'eau qui gèle à nouveau.

Les crêtes de pression sont des sections de la couverture de glace qui sont entrées en collision et qui ont formé des crêtes pouvant atteindre de 2 à 3 mètres de hauteur et s'étendre sur des centaines de mètres. Elles se forment souvent aux endroits où la fissure de contraction s'est remplie d'eau et a regelé. Lorsque la glace se réchauffe, l'expansion thermique de la glace est compensée par des mouvements ascendants le long de ces fissures regelées. On les retrouve habituellement sur des lacs plus grands où les effets de l'expansion thermique peuvent s'accumuler sur de longues distances et où le mouvement est relâché aux emplacements des crêtes. Les crêtes de pression peuvent représenter un défi majeur car elles peuvent constituer un obstacle, un aléa d'eau libre ou une zone où la glace est plus mince. Elles peuvent également changer au cours de l'hiver. Les crêtes de pression peuvent se reformer aux mêmes endroits pendant plusieurs années. La connaissance des lieux peut aider à identifier l'emplacement des crêtes de pression.



FIGURE 6-5 : Crête de pression de 2 m de hauteur sur un grand lac

Les fissures dues au vent résultent souvent de la formation d'une crête de pression qui est parallèle ou perpendiculaire à la rive. Les couvertures de glace doivent être inspectées afin d'y repérer des fissures humides à la suite de vents soutenus d'au moins 55 km/h tôt dans la saison. Elles doivent être soit réparées, soit évitées en relocalisant la route sur la couverture de glace.



FIGURE 6-6 : Rupture de glace causée par des véhicules qui circulent à grande vitesse



FIGURE 6-7 : Fissure à charnière le long de la rive d'un lac

Les fissures d'onde dynamique sont causées par des véhicules qui circulent trop rapidement sur la glace. Ces fissures se manifestent le plus souvent comme des ruptures en forme de couronne. Elles peuvent atteindre de 2 à 20 mètres de largeur, mais tendent à survenir dans des zones de glace mince qui recouvrent des eaux peu profondes. Le contrôle des limites de vitesse des véhicules constitue le principal moyen de prévenir ce type de fissures.

Les fissures à charnière surviennent lorsqu'une portion de la couverture de glace est fixe et que la portion adjacente flotte et peut se déplacer vers le haut ou vers le bas selon les changements du niveau d'eau. On note habituellement des fluctuations du niveau d'eau dans les rivières où les volumes d'eau peuvent être réduits pendant un hiver. Les niveaux d'eau des rivières qui se jettent à la mer peuvent également être influencés par les marées. Ces changements dans le fonctionnement des installations de régulation des eaux (barrages) peuvent modifier les niveaux d'eau dans les rivières et les réservoirs situés en amont ou en aval de ces structures. Dans des cas graves, la couverture de glace peut se séparer complètement et former une chute significative du niveau d'eau. Il faut alors soit éviter les rivières ou les lacs qui sont sujets à des changements de niveaux d'eau, soit contrôler, réparer ou retracer la route faisant l'objet de telles fissures.

6.5 CONCEPTION DES ROUTES DE GLACE

6.5.1 Évaluation de l'épaisseur de la glace (conception basée sur la capacité limite de la glace)

L'épaisseur d'une couverture de glace flottante constitue le principal paramètre de la conception d'une route de glace.

En connaissant la charge, on peut déterminer l'épaisseur minimale requise de la portion de glace flottante de la route en appliquant la Figure 6-8 (établie en fonction de l'étude réalisée par Gold (1971)). Gold a développé une relation simple entre la capacité portante et l'épaisseur de la glace flottante, qui s'exprime ainsi :

$P = Ah^2$ ou qui s'exprime comme :
 $h = \sqrt{P/A}$

Où :

P est la capacité portante en kg,

h est l'épaisseur en cm, et

A est un coefficient adimensionnel qui varie entre 3,5 et 7 selon la qualité de la glace, la géométrie de la route, le niveau de risque et les mesures d'atténuation.

Gold a suggéré une fourchette de valeurs A pour la glace d'eau douce, fondée sur son étude sur la rupture des couvertures de glace et sur son interprétation du risque associé à leur utilisation. Le risque de rupture de la glace augmente avec la valeur A, soit de 3,5 à la limite maximale qu'il recommande de 7. Depuis les travaux de Gold en 1971, un nombre de pratiques de contrôle des aléas, telles que le contrôle de l'épaisseur de la glace, les réparations de la glace et les limites de vitesse ont été mises en œuvre sur diverses routes de glace en vue de réduire le risque de rupture. Par conséquent, on peut envisager des valeurs A plus élevées à condition que des contrôles d'aléas additionnels soient mis en œuvre pour ramener le risque de rupture à un niveau acceptable. Le Tableau 6-3 identifie les charges admissibles pour une épaisseur de glace réelle mesurée (décrite à la section suivante) pour différentes valeurs A utilisées couramment et l'interprétation de leur niveau de risque. Le Tableau 6.4 décrit les procédures de contrôle des aléas qui devraient être utilisées pour les valeurs A correspondantes et l'interprétation de leur niveau de risque.

Exemple de calcul

Un véhicule de 15 000 kg doit se déplacer sur une route de glace. S'il doit se déplacer tôt dans la saison, choisir une valeur A de 6 et calculer une épaisseur de glace réelle minimale de 50 cm. Cependant, il s'agit là d'un risque important – mettre en œuvre alors les contrôles de surveillance, d'entretien et administratifs contenus au Tableau 6-4. Alternativement, choisir une valeur A à faible risque de 4 et calculer une épaisseur de glace de 61 cm ainsi que des contrôles plus modestes énoncés au Tableau 6-4.

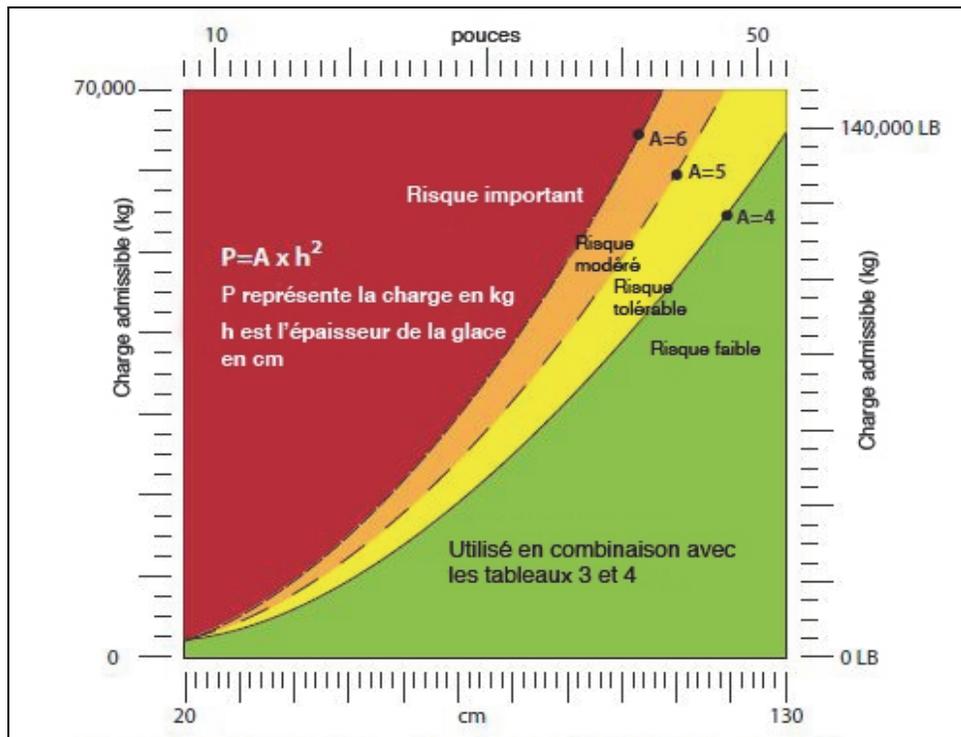


FIGURE 6-8 : Graphique sur la capacité de charge de la glace (Source : Gouvernement de l'Alberta, 2009)

Bien que l'équation de Gold constitue la base de tous les guides publiés sur la capacité portante de la glace, elle ne constitue pas une mesure infaillible de cette dernière. Elle doit être combinée à des contrôles de surveillance, d'entretien et administratifs de la glace afin de ramener le risque de rupture à un niveau acceptable.

6.5.2 Épaisseur de glace réelle

L'épaisseur de glace réelle, telle que mentionnée au paragraphe précédent, se définit comme étant la mesure de glace opaque et bleue bien cimentée et de bonne qualité d'une couverture de glace. Une glace de piètre qualité ou mal cimentée ne doit pas être prise en compte dans la mesure de l'épaisseur de glace. D'autres exemples de glace de piètre qualité qui doit être exclue sont les couches de glace qui :

- comportent de minces couches d'eau
- comportent du frasil qui n'est pas entièrement gelé (bouillie de glace)
- sont mal cimentées aux couches adjacentes
- comportent des poches d'air importantes
- ont une résistance inférieure de 50 % à celle de la glace bleue de qualité, et
- comportent des fissures humides.

| h =Épaisseur de glace réelle (cm) | Charge admissible (P=kg) | | | |
|---|--------------------------|------------------|---------------|------------------|
| | Risque faible | Risque tolérable | Risque modéré | Risque important |
| 20 | 1400 | * | * | * |
| 25 | 2200 | * | * | * |
| 30 | 3150 | * | * | * |
| 35 | 4300 | 4900 | 6120 | 7350 |
| 40 | 5600 | 6400 | 8000 | 9600 |
| 45 | 7100 | 8100 | 10100 | 12100 |
| 50 | 8750 | 10000 | 12500 | 15000 |
| 55 | 10600 | 12100 | 15100 | 18100 |
| 60 | 12600 | 14400 | 18000 | 21600 |
| 65 | 14800 | 16900 | 21100 | 25300 |
| 70 | 17100 | 19600 | 24500 | 29400 |
| 75 | 19700 | 22500 | 28100 | 33700 |
| 80 | 22400 | 25600 | 32000 | 38400 |
| 85 | 25300 | 28900 | 36100 | 43300 |
| 90 | 28300 | 32400 | 40500 | 48600 |
| 95 | 31600 | 36100 | 45100 | 54100 |
| 100 | 35000 | 40000 | 50000 | 60000 |
| 105 | 38600 | 44100 | 55100 | ** |
| 110 | 42300 | 48400 | 60500 | ** |
| 115 | 46300 | 52900 | ** | ** |
| 120 | 50400 | 57600 | ** | ** |
| 125 | 54700 | 62500 | ** | ** |
| 130 | 59100 | ** | ** | ** |

* Consulter la Figure 8-1 pour connaître les charges admissibles des personnes qui marchent et qui se tiennent debout sur la glace et celles des motoneiges et des camionnettes de moins de 5000 kg

** Consulter un ingénieur professionnel pour des charges excédant 63 500 kg.

TABLEAU 6-3 : Charges admissibles en kilogrammes pour les valeurs A et pour l'épaisseur réelle de glace (source : Gouvernement de l'Alberta, 2009)

| VALEURS A ET CONTRÔLE DES ALÉAS (À NE PAS UTILISER POUR LES CHARGES INFÉRIEURES À 1500 KG) | | | | | |
|---|---------------------------------|------------------------------------|--|---|---|
| Valeur A Glace de lac | Valeur A Glace de rivière | Niveau de risque | Contrôle des aléas | | |
| | | | Contrôles de surveillance | Contrôles d'entretien | Contrôles administratifs |
| 4 | 3,5 | Faible | Mesures manuelles de la glace et vérification de la qualité de la glace | Réparations et entretien au besoin | <ul style="list-style-type: none"> Plan de sécurité sur la glace Orientation et directives à l'intention des travailleurs et des opérateurs Observations périodiques sur les chantiers afin de faire appliquer les règles régissant les couvertures de glace |
| 5 | 4 | Tolérable | <ul style="list-style-type: none"> Programme de mesures manuelles périodiques de la glace Programme de surveillance de la qualité de la glace | Réparations et entretien au besoin | <ul style="list-style-type: none"> Plan de sécurité sur la glace Orientation et formation à l'intention des travailleurs et des opérateurs Observation quotidienne des chantiers afin de faire respecter les règles régissant les couvertures de glace |
| 6 | 5 | Modéré | <ul style="list-style-type: none"> Programme quotidien de mesures périodiques de la glace ou programme de profilage périodique de la glace au GPR, accompagné de mesures manuelles Programme de surveillance de la qualité de la glace | Réparations et entretien périodique | <ul style="list-style-type: none"> Plan de sécurité sur la glace Orientation et formation à l'intention des travailleurs et des opérateurs Application quotidienne des règles régissant les couvertures de glace |
| 7 | 6 | Important – Dispositions spéciales | <ul style="list-style-type: none"> Programme de profilage périodique de la glace au GPR et mesures manuelles de la glace Programme de contrôle de la qualité de la glace – souplesse face à d'autres mesures | Programme quotidien de réparations et d'entretien | <ul style="list-style-type: none"> Plan de sécurité sur la glace Orientation et formation à l'intention des travailleurs et des opérateurs Application quotidienne des règles régissant les couvertures de glace |



TABEAU 6-4 : Valeurs A et contrôle des aléas (à ne pas utiliser pour les charges inférieures à 1500 kg) (Source : Gouvernement de l'Alberta, 2009)

Le nombre et l'étendue des mesures de l'épaisseur de glace peuvent influencer également sur le calcul des charges admissibles. Plus il y a de mesures et plus il y a de chances de détecter l'épaisseur de glace minimale ou la glace de moindre qualité.

6.5.3 Effets des changements de température sur la glace

6.5.3.1 Refroidissement rapide

De soudaines chutes dans la température de l'air (par ex., plus de 20°C sur 24 heures) créent des tensions thermiques importantes à mesure que la glace se contracte. La contraction de la glace peut provoquer de nouvelles fissures ou étendre les fissures existantes, chacune d'elles risquant d'atteindre l'eau et de devenir des fissures humides. On doit vérifier la couverture de glace en vue d'y repérer des fissures à la suite de tels épisodes, et de déterminer si des réparations ou un entretien sont requis pour garder la route ouverte aux charges. La couverture de neige sur la glace peut ralentir les changements thermiques et cacher des fissures.

6.5.3.2 Réchauffement de la glace

Lorsque les températures de l'air se maintiennent au-dessus du point de congélation pendant plus de 24 heures, la glace commence à se réchauffer rapidement de haut en bas. Ces effets sont les plus importants sur la glace vive, la neige isolant la glace. Même si la glace peut avoir une épaisseur acceptable, sa résistance peut être grandement réduite par l'exposition à des températures au-dessus de 0 et au soleil. Si la température de l'air moyenne quotidienne excède 0°C pendant plus de 48 heures, les mesures suivantes doivent être prises :

- Mesurer l'épaisseur de glace minimale
- Surveiller l'état de la glace afin d'y détecter des signes de dégradation, de fissure et d'eau
- Recalculer la masse admissible de l'épaisseur de glace minimale mesurée à l'aide du Tableau 6-3 et le réduire de 50 %, et
- Réévaluer le poids admissible si la température de l'air quotidienne moyenne demeure sous 0°C pendant plus de 24 heures et que l'état de la glace satisfait aux exigences en matière de résistance et de qualité (fissuration).

La capacité portante de la glace peut être réduite rapidement lorsque la couverture de glace est soumise à des températures au-dessus de 0°C et à la lumière du soleil associée aux périodes d'ensoleillement qui rallongent après le 21 mars. Les opérations sur la couverture de glace doivent être terminées bien avant que le couvert de glace ne commence à se détériorer.

6.5.4 Conception des routes de glace et critères de conception (conception basée sur la contrainte limite de la glace)

Dans le cas des couvertures de glace flottante, l'équation de Gold constitue un outil efficace pour évaluer les capacités portantes admissibles lorsque la glace est suffisamment épaisse et que le risque de rupture est faible. Cette méthode peut faire en sorte que le planificateur d'une route de glace n'ait pas à respecter certains critères techniques spécifiques. Cependant, il arrive souvent que le concepteur doive faire face à une situation où la capacité portante doit être augmentée en raison des exigences opérationnelles, sans accroître toutefois le risque acceptable de rupture. Cette approche exige des méthodes d'analyse plus poussées qui tiennent compte des limites de contrainte et de déformation (critères de conception) du couvert de la glace (conception basée sur la contrainte limite). Les propriétés théoriques des matériaux doivent être confirmées à l'aide d'essais de glace effectués sur place.

Lors de la conception d'une route de glace, trois critères de conception doivent être respectés :

- Ne jamais excéder la contrainte admissible maximale de la glace ou la capacité portante du sol de fondation
- Opérer dans les limites permises du franc-bord, et
- Décrire le niveau approprié des contrôles des aléas qui doivent être mis en œuvre pendant la construction et les opérations.

6.5.4.1 Contraintes sur la glace

Une couche de glace, lorsque soumise à une charge, s'incurve vers le bas directement sous la charge, ce qui entraîne des contraintes de flexion dans cette section de la glace. Les contraintes maximales (contraintes en tension et contraintes en compression) surviennent directement sous la charge la plus élevée. Les contraintes de flexion sont constituées de contraintes en tension et de contraintes en compression dans la partie inférieure et à la surface de la couche de glace respectivement. La glace est un matériau dont la résistance en tension est faible et la résistance en compression élevée. Afin d'optimiser la capacité portante, il faut obtenir la glace la plus résistante au bas de la couche de glace, qui est de la glace formée naturellement.

La résistance de la glace est sensible aux changements de température. À des températures bien au-dessous de zéro, la glace devient plus résistante, mais aussi plus cassante. Une glace plus résistante peut procurer aux exploitants un faux sentiment de sécurité la surcharger peut entraîner une rupture soudaine sans avertissement. Une glace plus chaude, notamment pendant les journées chaudes du printemps, flue et devient très ductile, causant d'importants affaissements. Une glace chaude est moins sujette aux ruptures catastrophiques et soudaines. Cela signifie qu'avec l'approche du printemps et des températures plus élevées et le réchauffement, voire même la fonte de la surface de la glace, la capacité portante n'est pas nécessairement modifiée. Les températures dans la moitié inférieure de la couche de glace demeurent relativement constantes (voir Johnston & Timco, 2008).

Les contraintes de flexion admissibles maximales de la glace ne sont pas régulées. Toutefois, des valeurs de 500 kPa à 550 kPa sont généralement reconnues au sein de l'industrie. À l'aide de ces valeurs de tension (contrainte), le coefficient de sécurité minimal contre la rupture pour une couche de glace analysée correctement est de 3. Masterson (2009) a déclaré que ces valeurs correspondaient à des coefficients A se situant entre 3,5 et 5 dans le cas d'une couche de glace chargée modérément. Des contraintes de flexion plus élevées (jusqu'à 700 kPa) sont admissibles, à condition que la couverture de glace soit contrôlée attentivement et inspectée pendant son exploitation (voir paragraphe 8.7 du chapitre 8).

Les contraintes de flexion (et la valeur A) doivent être réduites en cas de conditions limites, telles que des fissures humides ou des changements brusques dans les températures ambiantes. Dans le cas d'une fissure humide, un cas de charge peut survenir, qui correspond à l'application d'une charge sur le bord d'une couche de glace. Dans ce cas, les contraintes admissibles (de même que les charges) doivent être réduites lors de l'analyse comparativement à une couche de glace continue.

Westergaard (1947) a élaboré une procédure de conception pouvant être utilisée pour déterminer les contraintes extrêmes des fibres de la glace flottante lorsque celle-ci est soumise à des charges réparties uniformément sur la surface de la glace. Des cas de conception plus complexes, tels que des charges placées au bord de la glace ou des couches de glaces présentant des ouvertures, peuvent être réglés à l'aide d'une modélisation mathématique. Toute méthode analytique poussée présuppose que la couche de glace agit comme une plaque isotrope, homogène et élastique sur une fondation élastique. Cette hypothèse est suffisamment exacte aux fins de la conception des routes de glace, et ce, malgré le fait que des fissures soient habituellement présentes dans la couverture de glace. La méthode tient compte de la superposition de différentes configurations des charges, permettant à l'utilisateur de déplacer celles-ci

afin de déterminer l'épaisseur de glace la plus efficiente sans excéder la résistance de la glace admissible qui aura été prédéterminée.

Les routes de glace ancrée sur le fond tirent leur capacité portante du support de fondation qu'offre le sol sous-jacent. Les contraintes de flexion de la glace n'ont pas d'importance dans le cas de la glace ancrée sur le fond, le sol offrant un support plus rigide. La couche de glace doit être suffisamment épaisse pour répartir efficacement les charges par roue en vue d'éviter la surcharge du sol sous-jacent. Bien qu'une rupture de la glace ancrée sur le fond soit moins grave que celle d'une couverture de glace flottante, elle peut entraîner des retards conjoncturels et endommager l'équipement.

6.5.4.2 Largeur d'une route de glace

La détermination de la largeur optimale d'une route de glace constitue un paramètre de conception important dans le processus de planification afin d'éviter de construire une route plus large que nécessaire, ce qui nécessite temps et argent. À l'aide d'une analyse des contraintes, on peut évaluer la largeur de la route de glace pour le degré de chargement envisagé. L'accroissement de la largeur de la route au-delà de ce niveau n'offre aucun avantage, la capacité de charge ne pouvant quant à elle être accrue davantage. En supposant une contrainte de flexion admissible maximale de la glace de 550 kPa, la largeur théorique d'une route de glace qui supporte un super train de type B dont la M.T.C. est de 63 500 kg, est de 27 m. Figurent au Tableau 6.5 les largeurs minimales d'une route de glace. Une largeur additionnelle de route sera nécessaire selon les besoins opérationnels, tels que les andains de neige formés par les chasse-neige.

TABLEAU 6-5 : Largeur minimale des routes de glace

| Masse maximal des véhicules (en kg) | Largeur minimale de la route de glace (en m) |
|-------------------------------------|--|
| 20 000 | 15 |
| 30 000 | 18 |
| 40 000 | 20 |
| 50 000 | 22 |
| 63 500 | 27 |
| > 63 500 | 30 m + |

Lors de l'étape de planification, il importe de planifier la largeur de la route pour la charge maximale devant y être transportée. L'élargissement de la route par l'enlèvement, à une date ultérieure, des bancs de neige sur ses côtés peut s'avérer coûteux, voire impossible. Une sous-estimation de la largeur d'une route peut entraîner une rupture ainsi que des résultats surestimés quant à des coûts de construction et d'entretien inutiles et à une perte de temps précieux pendant une période d'exploitation limitée.

6.5.4.3 Déflexions de la glace

Une couche de glace, lorsque soumise à une charge, s'incurve vers le bas là où la charge est appliquée, ce qui entraîne une diminution du franc-bord. Le franc-bord est la distance entre le sommet de la couverture de glace et le niveau de l'eau. Le déplacement des charges à court terme (pendant moins de deux heures) cause des déflexions élastiques qui entraînent un soulèvement quasi complet. Les charges laissées sur la glace pendant plus de deux heures entraînent des déformations permanentes qui peuvent causer ultimement une inondation de la glace. Les routes de glace sont généralement soumises à des charges mobiles, ce qui entraîne de faibles pertes du franc-bord. La prise de mesures du franc-bord doit être incluse dans le programme de contrôle.

6.5.4.4 Effets hydrodynamiques

Les véhicules qui roulent à grande vitesse (excédant la vitesse critique) sur une couverture de glace flottante génèrent une onde de pression (hydrodynamique) dans l'eau qui se trouve sous la couverture de glace, provoquant ainsi des contraintes et des déformations qui pourraient excéder les valeurs admissibles. Cela s'avère critique dans les cas où les charges se rapprochent de la capacité portante de la couverture de glace. La superposition des contraintes résultant d'un cas de charge morte importante et de l'action des vagues peut causer une rupture soudaine.

Des limites de vitesse doivent être établies afin de réduire les effets hydrodynamiques. La vitesse à laquelle la vague d'eau se déplace dépend essentiellement de la profondeur de l'eau. Des essais sur le terrain démontrent la vitesse critique des véhicules (v_c) à laquelle l'amplification dynamique maximale peut être déterminée par

$$v_c = 11,3d^{0,5}$$

Où

v_c est la vitesse critique des véhicules en km/h, et

d est la profondeur de l'eau en m.

Des mesures prises sur le terrain montrent que les amplifications dynamiques deviennent négligeables si les vitesses des véhicules sont maintenues sous les 70 % de la vitesse critique (v_c) (Haspel et al., 1981). Pour une profondeur d'eau de 5 m, la vitesse critique est de 25 km/h, mais les véhicules qui roulent à moins de 18 km/h n'amplifient pas les contraintes sur la glace.

Les effets des ondes de pression sont parfois apparents lorsque les véhicules s'approchent des hauts fonds. L'onde de pression peut se répercuter sur les hauts fonds et causer une rupture ascendante de la glace fine qui se trouve à proximité de la route de glace (« rupture »).

6.6 GESTION DU RISQUE PENDANT LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION

La gestion du risque sous forme de contrôle des aléas est en lien avec le calcul de la capacité portante des routes de glace. Conformément au Tableau 6-4, il existe des contrôles spécifiques de surveillance, d'entretien et administratifs qui sont associés à chacun des paramètres A dans le calcul de la capacité portante. Le Tableau 6-6 résume les contrôles des aléas visant à réduire le risque de rupture de la glace.

6.6.1 Contrôles de surveillance

Le contrôle est critique, le concepteur ayant émis des hypothèses dans sa conception qui doivent être vérifiées sur le terrain. S'il conçoit une route de glace, il doit planifier au moins une visite sur le site afin d'apprécier les problèmes spécifiques au projet et de modifier éventuellement la conception selon les observations qu'il aura faites sur le terrain. À titre d'exemple, toutes les parties au projet doivent comprendre que le poids de la neige n'est pas inclus dans la conception d'une route de glace. La neige doit être enlevée de la route de glace, et ce, très tôt en saison, tel qu'il est recommandé à la section 8.2 du chapitre 8. Le déneigement plus tard en saison peut s'avérer difficile et coûteux, voire impossible.

Des procédures de contrôle sont décrites au paragraphe 8.4 du chapitre 8. Des procédures spécifiques au projet doivent être élaborées et incluses dans le programme de contrôles de la glace liés à la sécurité (IMSP) décrites au chapitre 10. Ces procédures expliquent la relation qui existe entre la surveillance sur la glace et la sécurité sur la glace. La sécurité sur la glace, le coefficient de sécurité et l'utilisation efficace de la route de glace augmentent avec des efforts de surveillance accrus. Le concepteur peut identifier les zones fragiles connues le long de la route, telles que les chenaux de séparation, les crêtes de pression et les zones de glace mince, qui sont sujettes à une rupture et qui nécessitent des efforts de contrôle additionnels.

Le principal élément d'un contrôle de la glace est un programme qui prévoit des prises de mesures périodiques de l'épaisseur de glace. Une procédure systématique doit être mise en œuvre dans le but de documenter toutes les mesures de l'épaisseur de glace et les endroits où elles ont été prises. Des mesures directes sont prises en creusant un trou dans la glace et en mesurant l'épaisseur à un nombre suffisant d'endroits dans le but de caractériser adéquatement l'épaisseur de la couverture de glace. Le profilage de la glace à l'aide d'un géoradar (GPR) s'avère plus efficace pour collecter des données continues sur un grand nombre de traverses de glace ou sur une longue route de glace.

TABLEAU 6-6 : Sommaire du contrôle des aléas visant à réduire le risque de rupture

| Catégorie de contrôle des aléas | Contrôle des aléas |
|--------------------------------------|--|
| Études techniques – Planification | Planifier le choix du tracé routier (en tenant compte de l'épaisseur de la glace et des profondeurs de l'eau) |
| | Présumer des propriétés des matériaux/caractéristiques de résistance de la glace flottante |
| | Définir les caractéristiques des charges (l'ampleur, la répartition et la durée) |
| | Estimer l'épaisseur de la glace et déterminer la capacité portante admissible de cette dernière |
| | Appliquer des méthodes de conception visant à limiter les contraintes en vue d'optimiser la conception de la route de glace pour des charges spéciales |
| | Déterminer les vitesses critiques pour les différentes étendues d'eau |
| Études techniques – Construction | Définir et marquer les tracés et la largeur de la route de glace |
| | Enlever la neige, le poids de celle-ci n'étant pris en compte dans la conception |
| | Envisager des tracés de remplacement – éventuellement sur de la glace ancrée sur le fond |
| | Planifier et construire une transition entre la glace et la route sur terre (portage) |
| | Épaissir la route de glace (au besoin) de façon à ce qu'elle atteigne une épaisseur déterminée à la section 6.5 |
| Surveillance | Vérifier/documenter l'épaisseur de la glace et de la neige, et du franc-bord |
| | Surveiller /documenter/signaler les fissures et leur développement |
| | Surveiller/documenter/signaler toute inondation de la glace le long de la route de glace |
| Entretien | Enlever la neige |
| | Réparer les fissures, afficher les limites de vitesse et de charges ainsi que les distances (en km) |
| Administration | Développer des règles d'exploitation propres au projet de même qu'un programme de contrôles de la glace liés à la sécurité (IMSP) |
| | Informers les usagers de la route de glace de cet IMSP |
| | Tenir des ateliers sur la sécurité Établir des protocoles de communication |

6.6.2 Entretien

Les opérations d'entretien telles que la réparation des fissures et des crêtes de pression le long de la route ainsi que le déneigement, sont décrites à la section 8.4. Lors de la préparation du budget pour une route de glace, on ne doit pas sous-estimer les coûts d'entretien de la route. Cela est particulièrement vrai dans les cas qui nécessitent d'importantes activités de déneigement. Par exemple, tel que décrit au paragraphe 8.2, on peut réduire les accumulations de neige sur une route de glace en construisant correctement des bancs de neige sur les côtés.

L'entretien peut comprendre la pose de panneaux et l'installation de barrages pour les détours ou les fermetures de routes. Des panneaux doivent être installés pour rappeler aux usagers les limites de vitesse, l'espacement des véhicules et les consignes générales de sécurité à respecter. Des panneaux réfléchissants sont requis le long de la route, sur les côtés, à des distances prédéterminées.

6.6.3 Administration

Les pratiques administratives requises pour exploiter des routes d'hiver sont décrites au chapitre 9. Les principaux éléments des contrôles administratifs comprennent des règles d'exploitation propres à la route de glace, une formation en matière de sécurité et les communications. Il existe des règles d'exploitation requises pour le fonctionnement sûr et efficace d'une route d'hiver. La *Tibbitt to Contwoyto Winter Road Joint Venture* a publié l'ouvrage intitulé *Winter Road Regulations and Rules of the Road* (2009), qui fournit des règles d'exploitation pour sa route d'hiver industrielle privée.

Une formation sur la sécurité doit faire partie intégrante de tout projet devant être réalisé sur de la glace. Tout le personnel appelé à travailler sur de la glace flottante doit comprendre pleinement le risque qui s'y rattachent, peu importe la profondeur de l'eau.

Tous les aléas sont résumés dans l'IMSP propre au projet, qui doit être rendu accessible au personnel travaillant avec de l'équipement sur la glace. En outre, l'importance de la relation entre les activités de contrôle et les besoins en matière de sécurité sur la glace doit être communiquée à l'aide de consignes de sécurité.

L'on doit prévoir que les conducteurs devront communiquer entre eux ainsi qu'avec une station de base. Des rapports météo quotidiens doivent être communiqués à tout le personnel travaillant sur la route de glace. Les camionneurs doivent savoir où ils doivent et ne doivent pas stationner leur véhicule sur la route de glace.

CE CHAPITRE EN BREF

- La gestion du risque et le contrôle des aléas font partie du processus de conception des routes sur glace en vue de réduire le risque de rupture.
- Le contrôle des aléas comprend le calcul de l'épaisseur de la glace, la surveillance de l'état de la glace, l'entretien des routes de glace et les contrôles administratifs.
- Les types de glace et leur variabilité doivent être examinés car ils influent sur la capacité portante.
- Les couvertures de glace présentent une variété de fissures dues à diverses causes. Les fissures de rupture sont identifiées de même qu'un mécanisme pour évaluer d'autres types de fissures.
- L'équation de Gold, assortie au choix pertinent d'une valeur A, peut être utilisée pour évaluer l'épaisseur de glace pour une charge donnée.
- Chaque valeur A possède ses propres contrôles de surveillance, d'entretien et administratifs.
- Une conception visant à limiter les contraintes sur la glace constitue une autre façon de calculer l'épaisseur de glace. Cependant, elle est plus complexe et nécessite des prises de mesures de la résistance de la glace.

RÉFÉRENCES

Giesbrecht, G.G., and McDonald, G.K. 2010. *My car is sinking: Automobile submersion, lessons in vehicle escape*. Aviation, Space and Environmental Medicine, 81: 779-784.

Gold, L.W., 1971. *Use of ice covers for transportation*. Revue canadienne de géotechnique, Vol. 8, pp. 170-181.

Government of Alberta. 2009. *Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta*. Publication No. SH010.

Government of Northwest Territories, Department of Transportation, 2007. *A Field Guide to Ice Construction Safety*.

Haspel, R.A., Masterson, D.M., Goff, R.J., Potter, R.E., March 1981. *Experimental study on moving loads on a floating sea ice road*. Transactions of the ASME, vol. 3.

Johnston, M.E., Timco, G.W. December 2008. *Understanding and identifying old ice in summer*. Canadian Hydraulics Centre, National Research Council Canada.

Masterson, D.M., 2009. *State of the art of ice bearing capacity and ice construction*. Cold Regions Science and Technology 58 (2009), pp. 99-112.

Tibbitt to Contwoyto Winter Road Joint Venture, December 2009. *2010 Winter road regulations and rules of the road*. Guidelines issued by Diavik Diamond Mines Inc., BHP Billiton Diamonds Inc., and DeBeers Canada Inc.

Westergaard, H.M., 1947. *New formulas for stresses in concrete pavements of airfield*. Transaction, ASCE 687-701, May 1947.

CHAPITRE 7

CONSTRUCTION DES ROUTES SUR TERRE

7.0 CONTEXTE

Le présent chapitre décrit quelques-unes des pratiques utilisées pour aménager des routes d'hiver sur terre au Canada, à l'aide de neige et de glace utilisées comme structures de surface pour supporter les charges par roue. La construction commence par la préparation de l'emprise située soit sur un nouveau tracé routier, soit sur une emprise existante. Les opérations requises sont fonction du fait que la route souhaitée se trouve sur une emprise déjà existante ou non. Les techniques et l'équipement de base de même que les développements les plus récents en matière de construction sont examinés plus en détail dans ce chapitre. Y figurent la plupart des pratiques détaillées tirées du livre d'Adam (1978), ainsi que des mises à jour tirées d'ouvrages de référence plus récents et de l'observation des pratiques des entrepreneurs des Territoires du Nord-Ouest et du Manitoba.

APERÇU

- Contexte
- Préparation de l'emprise
- Routes de neige compactées
- Routes de neige recouvertes de glace
- Routes de glace sur terre
- Références

Le présent chapitre repose sur l'hypothèse que l'emprise de la route a été sélectionnée à l'issue d'une planification; seuls certains ajustements mineurs sur le terrain seront requis afin de tenir compte des changements dans les conditions prévues initialement.

7.1 PRÉPARATION DE L'EMPRISE

La préparation de l'emprise fait référence aux tâches requises pour mettre en état l'emprise de façon à ce que le matériel de chantier puisse entreprendre la construction de la structure de surface de neige ou de glace. À la limite des arbres signifie qu'il faut couper les arbres et les arbustes afin de fournir une emprise qui permettra le passage du matériel de chantier. Dans les zones dotées d'un sol pergélisolé, cela signifie habituellement un gel et une couverture de neige suffisants pour protéger la toundra sous-jacente des dommages causés par l'équipement.

Le choix et la planification d'un bon tracé routier permettront d'identifier les types de terrain de même que les tracés optimaux envisagés lors de la préparation. Le niveau de préparation dépend habituellement du type de conditions rencontrées sur le terrain et des spécifications de conception de la route destinées à répondre aux exigences en matière de volume de circulation et de fréquence des passages.

7.1.1 Nouvelle emprise

Les principaux facteurs dont il faut tenir compte sont le type/la densité de végétation, le drainage en surface et la présence de pergélisol.

Dans les régions sans pergélisol des forêts boréales, les arbustes et les arbres devront être coupés; on devra prévoir dans certains cas le transport et la récupération de ces arbres. On utilise généralement des véhicules à faible pression au sol pour dégager ou écraser la végétation et la couverture de neige. On peut utiliser des tracteurs chenillés sans patins champignons sur les lames pour retirer les racines, arracher la surface et exposer le sol minéral sous-jacent.

On peut trouver du pergélisol discontinu dans les régions des forêts boréales. Ces terrains sont vulnérables aux perturbations, et un soin plus grand doit normalement être apporté aux travaux de débroussaillage. Le débroussaillage ne devrait être effectué que l'hiver, alors que les arbres sont cassants et qu'ils peuvent être coupés au-dessus du sol, le but étant de garder le tapis de végétation de surface intact.

Dans les régions mal drainées, telles que les tourbières ou les sols organiques, une pénétration de gel suffisante sera nécessaire pour supporter l'équipement à faible pression au sol.

Les régions où le pergélisol est continu sont habituellement recouvertes de toundra ou de landes qui sont vulnérables aux perturbations. Tel que mentionné aux chapitres 5 et 11, il peut y avoir des réglementations environnementales qui régissent la quantité de gel nécessaire pour protéger le sol naturel sous-jacent. Il peut y avoir des exigences spécifiques dans le but de réduire les perturbations grâce à une combinaison suffisante de profondeur de gel et de couverture de neige/glace pour permettre la circulation des véhicules. Adam recommande une profondeur de gel d'au moins 150 mm et, pour l'aménagement d'une route de neige, au moins 100 mm de neige accumulée.

7.1.2 Emprise existante

Le terrain le plus simple est une route permanente qui a été dégagée au cours d'années antérieures et qui nécessite une préparation minimale. Dans la plupart des cas, l'emprise ne peut nécessiter qu'une préparation ou qu'un dégagement minimal selon le rendement de la route au cours de l'année précédente. La toundra ou les landes exigeront une certaine profondeur de gel (ou un regel de la couche active) avant d'entreprendre l'écrasement du manteau neigeux.

Pour certains projets, les volumes et la fréquence de trafic de même que les types de véhicules peuvent nécessiter une modification du tracé routier et de la géométrie de la route afin d'améliorer les pentes de la route et les lignes de visibilité. Au fil des ans, les sections de portage de la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto ont été modifiées pendant les travaux de construction l'été afin d'en améliorer le tractage et les lignes de visibilité en vue des opérations de la route d'hiver.

7.2 ROUTES DE NEIGE COMPACTÉE (C1A, C1B ET C1C)

7.2.1 Routes de neige légèrement à moyennement compactée (C1A)

Au Canada, les routes de neige sont construites généralement en nivelant, en compactant et en aplanissant la neige. Si on a besoin de beaucoup de neige, des rouleaux compresseurs et autres équipements de compactage du sol peuvent être nécessaires. On ne construit pas de routes de neige traitée au Canada, mais il existe une vaste documentation sur celles-ci aux États-Unis.

Les méthodes de construction des routes de neige comprennent :

- La vérification de la profondeur de la pénétration du gel pour déterminer si la route peut supporter le matériel de chantier.
- L'écrasement de la végétation et du manteau neigeux à l'aide de véhicules à faible pression au sol afin d'accélérer la pénétration du gel.
- Le nivellement de la surface à l'aide de neige additionnelle pour combler les creux et les dépressions.

Protection de la toundra en Alaska

Le *Bureau of Land Management* (BLM) supervise les terres fédérales américaines, y compris les déplacements sur la toundra des Réserves pétrolières nationales d'Alaska. Des méthodes de construction précoce pour les routes d'hiver sur terre ont entraîné une perturbation inacceptable de la toundra. Au fil des ans, le Bureau a effectué des tests et des études sur le terrain en vue d'élaborer des critères de construction routière visant à protéger la toundra vulnérable (Bader 2005). Maintenant, les déplacements sur la toundra peuvent commencer si la température du sous-sol est de - 5 °C à une profondeur de 30 cm et si l'épaisseur du manteau neigeux est de 15 cm pour la plaine côtière (20 cm pour les contreforts de la chaîne de montagnes Brooks). Par conséquent, les routes de neige compactée sont le type de routes d'hiver le plus courant dans les endroits où il y a de la neige. On trouve des routes d'agrégats de glace sur terre dans les régions qui reçoivent peu de neige, mais qui regorgent de lacs et dans lesquels il est facile d'extraire de la glace.

- L'ajout de neige additionnelle pour atteindre l'épaisseur de surface voulue afin de répondre aux besoins en matière de charges ou de protéger les terrains vulnérables.
- Le compactage de la surface à l'aide d'un traîneau niveleur léger ou moyen.
- Le durcissement par vieillissement de la neige et le gel avant d'autoriser toute circulation (deux jours).



FIGURE 7-1 : Niveleuse tirant un traîneau niveleur sur la neige

Le matériel de chantier type comprend des tracteurs chenillés avec lames, des traîneaux niveleurs légers ou moyens et du matériel à faible pression au sol.

7.2.2 Routes de neige moyennement à fortement compactée (C1B, C1C)

Il a été prouvé que l'augmentation de la densité de la neige accroît la résistance de celle-ci de même que sa capacité portante (Johnson et al., 1980; Abele, 1990). Plus d'efforts seront requis pour atteindre des densités de neige plus élevées qui peuvent être limitées par le matériel disponible. L'équipement utilisé pour aménager les routes d'hiver comprennent des tracteurs chenillés avec lames, des traîneaux niveleurs moyens ou lourds et des rouleaux compacteurs.

Les méthodes de construction des routes de neige compactée comprennent :

- La vérification de la profondeur de la pénétration du gel pour déterminer si la route peut supporter le matériel de chantier.
- Le nivellement du manteau neigeux à l'aide de véhicules à faible pression au sol afin d'accélérer la pénétration du gel.
- L'ajout de neige additionnelle pour combler les creux et les dépressions, et le façonnement de la route sur sa largeur à l'aide d'un traîneau niveleur léger ou le nivellement en marche arrière à l'aide d'un tracteur chenillé.
- Le compactage de la neige au moyen de passes répétées d'un tracteur chenillé, de traîneaux niveleurs lourds (1500 kg), de rouleaux à large diamètre ou de rouleaux compresseurs à pneus, et
- Le durcissement par vieillissement de la neige et le gel avant d'autoriser toute circulation (normalement deux jours, mais ce délai peut varier selon les conditions météorologiques).

Les régions avec peu d'accumulations de neige devront peut-être importer de la neige d'autres régions ainsi que l'équipement nécessaire pour stocker la neige et la transporter vers le site de la route. Des clôtures à neige peuvent également être efficaces pour accumuler la neige.

7.2.3 Neige traitée

Le traitement de la neige sous-entend la fragmentation des particules de neige pour qu'il soit plus facile de les compacter en vue d'atteindre des densités et des résistances élevées. Des essais sur le terrain réalisés par Wuori (1963) et par Lang et al. (1997) démontrent que la neige peut être traitée et compactée pour atteindre une résistance sur place variant entre 3000 à 7000 kPa. Ces essais ont conclu qu'avec ces résistances, la neige compactée pouvait supporter des véhicules lourds à roues de même que des avions qui requièrent habituellement moins de 1000 kPa. Le traitement de la neige nécessite du matériel additionnel, tel que des pulvérisateurs-mélangeurs et des motoculteurs/herses pour désagréger la neige.

Les méthodes utilisées pour construire une route de neige traitée sont les mêmes que celles utilisées pour une route de neige compactée, à l'exception d'une étape additionnelle qui consiste à traiter la neige avant de la compacter. Une fois les étapes initiales de rabotage et de nivellement effectuées, deux ou trois passes seront effectuées à brefs intervalles (moins d'une heure entre chaque passe) à l'aide d'un pulvérisateur-mélangeur ou d'un motoculteur. Tout de suite après la passe finale, la neige est compactée avant que des liens de glace ne se forment entre les grains de neige. Une fois la neige compactée, on la laisse durcir afin que les grains de neige se lient entre eux et génèrent la capacité portante requise. Lang et al. (1997), durant leur court essai sur le terrain, ont ajouté une étape additionnelle qui consiste à prétraiter la neige à l'aide d'une souffleuse rotative à turbine.



FIGURE 7-2 : Broyeur de neige Peter traitant la neige

Bien que cette technologie de traitement de la neige existe depuis 40 ans, elle est rarement utilisée au Canada.

7.3 ROUTES DE NEIGE RECOUVERTES DE GLACE (C2A et C2B)

Le processus qui consiste à recouvrir une couche de neige (compactée ou non) de glace est le moyen le plus efficace d'accroître la capacité portante des routes de neige afin qu'elles puissent supporter de plus grands volumes de circulation et/ou des véhicules à roues plus lourds. Dans la plupart des cas, environ 25 mm d'eau est jugée suffisante pour recouvrir de glace une surface de neige afin que celle-ci supporte des charges par essieu de 9100 kg. Des charges par essieu pouvant atteindre 18 000 kg sont envisageables grâce à un traitement supplémentaire de la neige et à son recouvrement par de la glace.

L'équipement utilisé pour aménager des routes de neige recouvertes de glace comprend des tracteurs chenillés avec lames, des traîneaux niveleurs moyens, un camion-citerne de même que des tuyaux et des pompes qui permettent de remplir le camion-citerne depuis des sources d'eau. Une rampe d'arrosage arrière fixée au camion-citerne constitue un moyen efficace pour appliquer l'eau. Le débit d'application peut être modifié à l'aide du diamètre de la buse, de la pression d'eau et de la vitesse du camion. Le compactage se fait à l'aide d'un traîneau niveleur lourd et de compacteurs à rouleaux.

Les méthodes de construction des routes de neige recouvertes de glace comprennent :

- La vérification de la profondeur de la pénétration du gel pour déterminer si la route peut supporter le matériel de chantier.
- Le nivellement du manteau neigeux à l'aide de véhicules à faible pression au sol afin d'accélérer la pénétration du gel.
- L'ajout de neige additionnelle pour combler les creux et les dépressions, et le façonnement de la route sur sa largeur à l'aide d'un traîneau niveleur léger ou le nivellement en marche arrière à l'aide d'un tracteur chenillé.
- Le compactage de la neige au moyen de passes répétées d'un tracteur chenillé ou de traîneaux niveleurs lourds (1500 kg) ou de rouleaux à large diamètre ou de rouleaux compresseurs à pneus (facultatif), et
- L'application d'eau sur la surface en une passe, dont le débit est réglé pour éviter le ruissellement et une accumulation excessive d'eau sur la surface de neige, et
- Le gel de l'eau qui cimente la surface de neige avant de permettre le passage de la circulation – en fonction des températures ambiantes (aussi tôt que 30 minutes).



FIGURE 7-3 : Camion-citerne qui épand de l'eau sur la neige (avec la permission de l'AIC)

Selon la finition de la glace, les pentes de la route et les pneus des véhicules, l'adhérence des véhicules peut être faible sur ces routes. On ajoute souvent du sable sur la surface en vue d'améliorer l'adhérence dans les zones critiques, mais cela occasionne souvent de l'usure additionnelle et accélère le dégel de la couche de glace. Un entretien continu est souvent nécessaire pour garder la route de neige recouverte de glace ouverte à la circulation à la fin de l'hiver ou au début du printemps.

7.4 ROUTES DE GLACE SUR TERRE (C3)

Au Canada, la construction des routes de glace sur terre se limite à des circonstances spéciales où des charges de véhicule élevées, de forts volumes de circulation ou le manque de neige peuvent rendre la construction de routes de neige conventionnelles impossible. La construction de courts tronçons de routes de glace sur terre est plus courante dans des régions où il n'y a pas suffisamment de neige et où l'importation de neige coûte trop cher par rapport au transport et à l'épandage d'eau. Les méthodes de construction et l'équipement sont très semblables à ceux utilisés pour les routes de neige recouvertes de glace, mais sans avoir à niveler la neige ou très peu.

Selon la longueur de la route, plusieurs camions-citernes peuvent être nécessaires de même que des tuyaux et des pompes pour remplir les citernes d'eau prélevée de sources d'eau. Les camions équipés de rampes d'arrosage arrière sont plus efficaces dans l'application uniforme de quantités d'eau sur la surface.

Les méthodes de construction des routes de glace sur terre comprennent :

- La vérification de la profondeur de la pénétration du gel pour déterminer si la route peut supporter le matériel de chantier.
- Le nivellement de la voie à l'aide du manteau neigeux existant dans le but de combler les dépressions et de laisser la surface geler/durcir pendant quelques heures.
- L'application d'une couche d'eau initiale pour sceller la surface et saturer complètement la neige.
- Le gel de l'eau avant d'appliquer les prochaines couches.
- La répétition d'applications d'eau en une passe, en ayant soin d'ajuster le débit pour éviter le ruissellement et l'accumulation excessive d'eau sur la surface gelée (plus de 5 cm), et
- La construction d'une surface de glace en couches jusqu'à ce qu'une épaisseur suffisante soit atteinte, qui fournira une capacité portante adéquate.

Tout comme pour les routes de neige recouvertes de glace, l'adhérence des véhicules peut être améliorée au moyen d'une application de sable combinée à l'entretien requis.

7.4.1 Routes d'agrégats de glace

Tel que mentionné à la section 3.2.3, les routes d'agrégats de glace sont courantes sur le versant nord de l'Alaska, où la couverture de neige en début de saison est rare et où le procédé conventionnel d'épandage d'eau est trop coûteux (Byrne et Schulz, 2006; Campbell, 2009). Les agrégats de glace peuvent également accélérer la construction, nécessitant moins d'eau et accélérant la formation de glace. La construction comprend l'extraction d'agrégats de glace (copeaux) à partir de sources de glace adéquates situées sur les lacs, puis leur déversement sur la voie, leur compactage et leur arrosage, puis leur congélation en une chaussée d'agrégats de glace. L'équipement pour extraire la glace comprend une fraise rotative tirée par un tracteur à pneus. Des chargeuses frontales découpent la surface gelée, ramassent les agrégats et les chargent dans des camions-bennes. Ceux-ci déversent progressivement les agrégats sur la voie, où un tracteur chenillé les étend et façonnent la route. Des camions-citernes appliquent une couche d'eau de 25 mm dans le but de combler les vides entre les agrégats qui gèleront ensemble.



FIGURE 7-4 : Extraction des copeaux de glace (avec la permission de l'AIC)

CE CHAPITRE EN BREF

Au Canada, les routes d'hiver sur terre sont faites généralement de neige compactée/nivelée et, lorsque les charges ou la fréquence de trafic l'exigent, leur surface est recouverte de glace. Il existe une technologie qui permet de traiter et de compacter la neige de sorte qu'elle puisse porter de plus grandes charges, mais la technique de recouvrement de glace s'avère une solution plus pratique et plus économique pour la plupart des régions. Les routes de glace sur terre s'avèrent une bonne solution pour les très grosses charges et les volumes élevés de circulation.

RÉFÉRENCES

Abele, G., 1990. *Snow Roads and Runways*, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Special Report 90-03, 1990.

Adam, K.M. *Construction et exploitation des routes d'hiver au Canada et en Alaska*. Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada; Direction de la protection de l'environnement et des ressources renouvelables du Nord. Études environnementales n° 4.

Bader, H.R. 2005. *Tundra travel research project: Validation study and management recommendations*. Report to Alaska Department of Natural Resources, 20 pages.

Byrne, L.C. and Schultz, G. 2006. *Recommended methods of ice road construction based on analysis of disturbance to vegetation and active layer*, Présentation.

Campbell, B. 2009. *Roads to resources paved with ice: construction, maintenance, travel times standardized*. Alaska Business Monthly. Consulté le 25 août 2010.

Johnson, Philip R., and Collins, Charles M., 1980. *Snow Pads Used for Pipeline Construction in Alaska*, 1976. *Construction, Use and Breakup*. CRREL Report 80-17.

Lang, R.M., Blaisdell, G.L., D'Urso, C., Reinember, G. and Leshner, M. 1997. *Processing snow for high strength roads and runways*. *Cold Regions Science and Technology*, 25: 17-31.

Wuori, A.F. 1963. *Snow stabilization studies*. In *Ice and Snow*, edited by W.D. Kingery, MIT Press, Cambridge, MA.

CHAPITRE 8

CONSTRUCTION DES ROUTES SUR GLACE

8.0 GÉNÉRALITÉS

Les routes de glace aménagées sur des lacs peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres tandis que les ponts de glace servent à traverser une rivière sur la plus courte distance possible. Toutefois, les méthodes de construction pour ces deux types d'ouvrages sont semblables. La glace qui recouvre les lacs et les rivières s'épaissit naturellement avec le temps lorsqu'elle est exposée à des températures froides. Cependant, l'épaisseur des ponts de glace aménagés sur des rivières a plus tendance à diminuer en raison des courants d'eau qui s'écoulent sous l'ouvrage.

Généralement, la construction d'une route de glace commence par une reconnaissance des lieux destinée à vérifier le tracé routier choisi par le planificateur (voir chapitre 6). Ce relevé initial doit être réalisé avec beaucoup de prudence en raison de l'éventualité d'une rupture. Il importe que tout le personnel appelé à travailler sur la glace soit au courant du risque couru et connaisse le programme de contrôles de la glace liés à la sécurité (IMSP) propre au projet.

Une fois l'épaisseur de neige et l'épaisseur de glace connues le long du tracé, la prochaine étape consiste à amener l'équipement sur la glace pour enlever la neige, selon les dimensions de la route fournies à la section 6.5. L'importance de la gestion de la neige dans l'aménagement d'une route de glace est décrite à la section 8.2.

Tel que décrit plus loin dans le présent chapitre, un tronçon de la route de glace ou la totalité de celle-ci doit être épaissi si la glace formée naturellement n'est pas suffisante pour supporter les charges requises pendant la période d'exploitation. La construction sur glace est effectuée en extrayant de l'eau de sous la glace et en inondant ou en pulvérisant ensuite la surface de glace en couches, permettant ainsi à l'eau de geler avant d'appliquer la couche suivante. Les procédures de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité font partie intégrante du processus visant à s'assurer que la route de glace est construite de façon à satisfaire aux exigences du projet.

APERÇU

- Généralités
- Reconnaissance initiale de la route
- Déneigement et gestion de la neige
- Méthodes de construction sur glace
- Contrôle de la qualité pendant la construction
- Entretien
- Fermeture de la route

Une fois la construction de la route complétée, la route de glace doit être surveillée et entretenue. La surveillance et l'entretien sont des éléments de l'approche de gestion du risque dont il est fait mention au chapitre 6.

8.1 RECONNAISSANCE INITIALE DE LA ROUTE DE GLACE

La reconnaissance initiale du tracé proposé pour la route de glace est importante dans le cas des nouveaux tracés, et recommandée pour les routes existantes. Lors du traçage de la route, de nombreux défauts tels que les chenaux de séparation (même les chenaux de séparation regelés), les crêtes de pression et les zones où la glace est mince, peuvent être identifiés.

Bien qu'il soit impossible d'éviter ces zones fragilisées, la route peut être renforcée en l'inondant plusieurs fois ou en installant une plate-forme de bois modulaire ou un pont-poutre. On doit également examiner la conformité des accès entre les couvertures de glace et les portages. Les pentes doivent être suffisamment plates afin de se conformer aux besoins opérationnels futurs. On doit vérifier la pente de la rive afin de contrôler la transition entre la glace flottante et la glace ancrée sur le fond. Un entretien préventif peut être requis, l'accès à la glace se détériorant souvent en premier lorsqu'il est exposé à des températures ambiantes élevées et à une baisse de l'albédo au printemps.

On doit faire preuve de beaucoup de prudence lorsqu'on embarque pour la première fois sur la couverture de glace pour en vérifier l'état. Un matériel convenable, y compris un équipement de protection individuel (EPI), doit être utilisé pour ce travail, et une évaluation des aléas doit être réalisée avant d'entreprendre toute prise de mesures sur le terrain. Un test initial doit être effectué par au moins deux travailleurs dûment formés qui se déplaceront séparément sur la glace où des travaux peuvent être effectués à pied, en motoneige ou en véhicule amphibie. La Figure 8-1 fournit des épaisseurs de glace minimales pour les véhicules utilisés habituellement pour mesurer l'épaisseur de la glace avant d'entreprendre la construction. L'épaisseur de glace sécuritaire pour les véhicules à pleine charge doit être connue et respectée en tout temps. On peut utiliser (en paires) des motoneiges légères à condition que la glace soit vérifiée avant leur passage afin de s'assurer qu'elle est suffisamment épaisse pour les supporter.

L'épaisseur de la glace peut être mesurée à l'aide d'une tarière à glace ou d'un GPR.

Une méthode de travail sécuritaire doit être établie et mise en œuvre pour les travailleurs qui effectueront les prises de mesures initiales de la glace. Cette méthode doit comprendre :

- Des essais à la fois sur les zones couvertes de neige et sur les zones non couvertes le long de la route

Toutes les mesures de la glace doivent être recueillies et documentées (endroit, date, opérateur) à l'aide d'une méthode systématique. Les endroits où sont effectuées des prises de mesures sont indiqués à l'aide d'un appareil GPS ou de jalons de référence ou de tout autre système fiable de sorte qu'ils peuvent être contrôlés à nouveau lors de prises de mesures ultérieures ou identifiés à des fins d'opérations d'épaississement. Cette information est importante non seulement pour orienter la construction et l'entretien, mais aussi pour indiquer aux autres usagers les zones où la glace est mauvaise. Les données sur l'épaisseur de la glace doivent également être examinées par les superviseurs et stockées pour consultation future.

- La consignation des fissures, de la charge de neige et de la qualité de la glace
- L'enregistrement du tracé sur une carte ou à l'aide d'un appareil GPS et son marquage sur le terrain
- L'observation d'une distance sécuritaire entre les véhicules à moins que l'état de la glace ne soit connu.

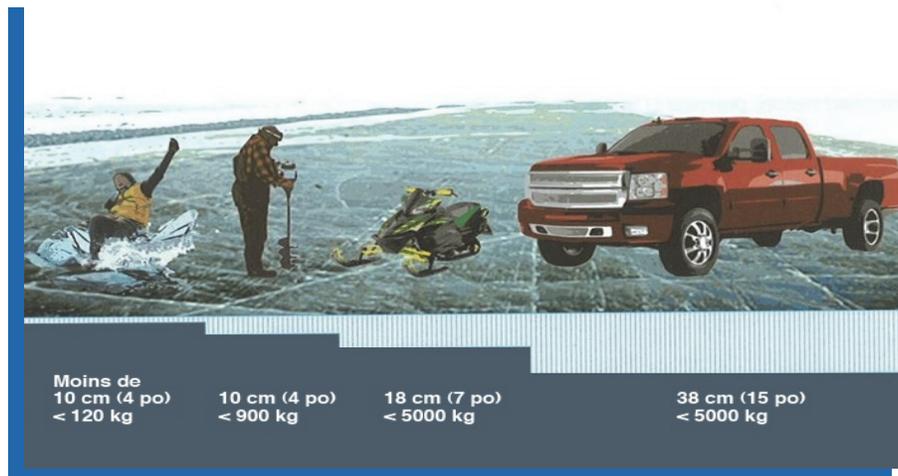


FIGURE 8-1 : Épaisseur de la glace minimale recommandée
(source : Gouvernement de l'Alberta)

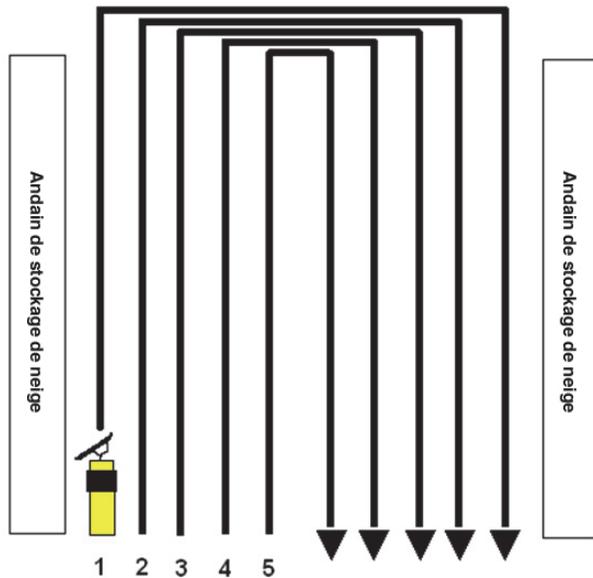
- L'installation d'un treuil sur les véhicules à roues
- L'installation d'une radio bidirectionnelle et /ou d'un téléphone satellite et d'un matériel de survie à bord des véhicules
- L'observation d'une procédure d'appel au poste
- Le port de combinaisons de flottaison/survie très visibles ou de gilets de sauvetage, et
- Le transport de suffisamment de carburant pour une journée entière de travail plus une réserve de 50 %.

De plus amples détails sur la fréquence et la répartition des trous à la tarière sont fournis à l'Annexe A.

8.2 DÉNEIGEMENT ET GESTION DE LA NEIGE

Le déneigement représente l'une des premières activités de construction sur la glace nécessaires pour favoriser la formation de glace naturelle et pour réduire les opérations artificielles éventuelles d'épaississement de la glace. La construction d'une route sur glace sous-entend généralement une gestion du couvert neigeux sur la couche de glace. La neige agit comme isolant, nuit à la formation de la glace, ajoute un poids supplémentaire sur la glace et recouvre les fissures et les zones fragilisées de la glace. Une gestion adéquate de la neige réduit les coûts de construction et d'entretien, limite les retards pendant la construction et l'exploitation et règle les problèmes liés à la sécurité sur la route et le long des limites de la route de glace.

Du matériel plus lourd peut être requis pour le déneigement selon la densité, l'épaisseur et la superficie du couvert neigeux. En connaissant les charges des équipements et en effectuant un contrôle approprié du déneigement de la glace, on peut déterminer les épaisseurs de glace minimales d'après les méthodes dont il est fait mention au chapitre 6 et à l'aide de mesures de l'épaisseur de glace.



En fonction des circonstances locales et de la disponibilité d'un équipement de déneigement adéquat, la gestion de la neige varie entre laisser la neige en place et déneiger la surface pour permettre la construction et la circulation des véhicules. Dans le premier cas, des véhicules chenillés sont requis pour tasser la neige et pour préparer la surface qui permettra aux véhicules à roues de circuler sur la route. Le dernier cas requiert plus d'efforts, mais est plus courant lorsqu'il faut permettre à des véhicules à roues de traverser sur la glace.

La construction d'une route de glace commence par le déblaiement de la neige vers les côtés de la route, créant ainsi des remblais de neige dont la surface est inclinée. Cette méthode empêche l'accumulation de neige transportée par le vent. Il importe de placer les bancs de neige suffisamment loin du centre de la route. La largeur de la route de glace est traitée en termes analytiques au chapitre 6. La largeur réelle de la route doit être accrue parce que :

- La glace située sous les bancs de neige est plus mince que la route de glace, et l'élargissement ultérieur de la route à l'aide d'un équipement lourd pourrait provoquer une rupture, et
- Au printemps, les côtés de la route seront inondés (en raison du franc-bord négatif). Cette inondation pourra s'étendre jusqu'au centre de la route, ce qui la rendra impraticable.

Exemple pratique – Pratiques du ministère du Transport et de la Voirie de la Saskatchewan pour le déneigement des routes de glace

La Saskatchewan a pour pratique de déneiger les corridors des routes de glace sur une largeur variant entre 30 et 45 m. Les limites extérieures du corridor routier sont marquées à l'avance afin d'identifier, pour les opérateurs, les zones vérifiées et qui sont sécuritaires pour le déneigement. Lors de précipitations de neige abondantes ou d'accumulations considérables, le déneigement commence sur les bords extérieurs et se poursuit vers le centre (voir figure ci-contre). Les opérateurs ne doivent déblayer que la neige qui peut être enlevée de manière sécuritaire par leur équipement, et ce, dans le cadre de leur quart de travail. Si le couvert neigeux est peu abondant, le déneigement peut commencer au centre et se poursuivre vers les limites extérieures. Les andains de neige qui sont restés sur place pendant la nuit ne doivent pas être déplacés en raison de fissures éventuelles situées sous ces derniers, qui affaiblissent la glace. Des tests additionnels de la glace et une extrême prudence sont requis pour déplacer un andain ou pour le traverser.

La largeur finale de la route de glace est fonction des besoins opérationnels tels que les charges des équipements sur la route et la fréquence du trafic.

La première couche de neige peut être incorporée dans la construction d'une route de glace si l'enlèvement de la neige n'est pas possible. Le cas échéant, la neige doit être complètement saturée d'eau. Il importe de vérifier que le mélange de neige et d'eau qui en résulte est entièrement gelé et soudé à la couche de glace sous-jacente avant d'appliquer la couche d'eau suivante.

8.3 MÉTHODES DE CONSTRUCTION SUR GLACE

Les méthodes pour tracer et construire une route de glace sont fonction des besoins des utilisateurs finaux, des conditions géographiques et environnementales et des considérations budgétaires. La construction d'une route de glace comprend normalement l'épaississement de la glace qui s'est formée naturellement afin que la route supporte les charges pour lesquelles elle a été conçue. L'épaisseur de glace peut être accrue en inondant, en pulvérisant de l'eau (sur la glace) ou en y plaçant des copeaux de glace que l'on inondera. Ces trois méthodes de construction représentent des taux de formation de la glace accrues, l'utilisation d'un équipement plus perfectionné et une hausse des coûts.

L'inondation est la façon la plus courante et la plus économique de construire et d'entretenir une route de glace. Pour ce faire, il faut percer un trou dans la glace à l'aide d'une grosse tarière et y placer une pompe portable à grand débit et à basse pression. La pompe extrait l'eau sous la glace et la pulvérise sur la surface glacée en couches. Chaque couche doit geler et adhérer entièrement à la couche précédente avant que la couche suivante ne soit appliquée. Dans des conditions hivernales normales, on peut atteindre des taux quotidiens moyens de formation de la glace de 3 à 5 cm grâce à cette méthode.

Le succès d'un épandage d'eau est tributaire de la pompe qui doit bien fonctionner dans des conditions extrêmes (voir Figure 8-2). Elle doit pouvoir fonctionner par température très froide, être facile à manipuler, être auto-amorçante et être facile à drainer une fois éteinte.



FIGURE 8-2 Pompe servant à inonder la surface

La technique de pulvérisation de glace peut presque quadrupler la vitesse de formation de la glace comparativement à l'épandage d'eau. La pulvérisation sous-entend l'utilisation d'une pompe haute pression qui propulse de l'eau dans l'air froid. L'eau s'échappe et se disperse, puis retombe en gouttelettes très froides sur la surface glacée et gèlent très rapidement. Cette opération doit être contrôlée attentivement afin d'éviter la formation de neige. Les techniques de pulvérisation sont rarement utilisées lors de la construction de routes de glace parce que de l'équipement plus lourd est nécessaire. Cependant, des projecteurs-pulvérisateurs ont été utilisés pour l'aménagement de ponts de glace et de grandes plates-formes de glace.



FIGURE 8-3 : Pulvérisation de glace sur la rivière Mackenzie (*Source : Ministère des transports du GTNO)

Une autre méthode de construction sur glace consiste au déversement de copeaux de glace, combiné à un épandage d'eau. Il s'agit là de la méthode la plus coûteuse, mais aussi la plus rapide pour construire une route de glace. La formation quotidienne de la glace atteint au moins 30 cm grâce à cette méthode. Les copeaux de glace sont extraits d'un couvert de glace fixé sur le sol avoisinant à l'aide d'un arracheur de bitume converti, puis sont transportés par camion et déversés sur la route de glace. Puis un épandage d'eau remplit les creux de la couche de copeaux et donne une couche de glace dure. Les copeaux absorbent la chaleur de l'eau épandue, ce qui accélère la congélation comparativement à un épandage d'eau normal.

8.3.1 Crêtes de pression

Les crêtes de pression correspondent habituellement à un soulèvement de la glace comme le montre la Figure 8-4. Elles peuvent survenir à petite ou à grande échelle. Ces zones doivent être évitées autant que possible en raison de leur nature imprévisible. Bien qu'il soit préférable d'éviter, pour l'aménagement des routes de glace, les endroits reconnus pour développer des fissures importantes ou des crêtes de pression, il n'est pas toujours possible de le faire. Les crêtes de pression se forment souvent sur les grands lacs, lors de changements soudains de la température, et le retraçage de la route peut ne pas être faisable ou rentable.

Exemple pratique : Pulvérisation de glace à Fort Providence, T.N.-O.

La technique de pulvérisation de glace a été utilisée avec succès pendant plusieurs années à la traversée de glace de Fort Providence sur la rivière Mackenzie, dans les Territoires du Nord-Ouest. La traversée de glace est gérée par le ministère des Transports des Territoires du Nord-Ouest, celle-ci étant l'unique connexion routière avec la région de Yellowknife. La traversée de glace est construite chaque mois de décembre et est exploitée jusqu'au début d'avril, alors qu'un traversier prend la relève pour assurer les traversées de la rivière pendant la saison des eaux libres (de la fin d'avril à la fin de novembre). La route est toujours temporairement fermée pendant la transition entre la traversée de glace et le début des services de traversier.

Le ministère des Transports a adopté cette technique de pulvérisation de glace dans le but de réduire la durée de la fermeture de la route due aux délais de construction requis pour construire une traversée de glace capable de supporter les charges des véhicules. En ayant recours à cette technique, ils se sont rendu compte qu'ils pouvaient ouvrir la traversée de glace 2 à 3 semaines plus tôt que lorsqu'ils utilisaient la technique d'épandage d'eau. Des études de la résistance de la glace, menées en 1995, ont démontré que la résistance de la glace pulvérisée de Fort Providence était comparable à celle de la glace naturelle.

En 2008, on a eu recours à la technique de pulvérisation de glace dans la région d'Inuvik pour construire des traverses de glace sur la rivière Peel, près de Fort McPherson, et sur la rivière Mackenzie, près de Tsiigehtchic.

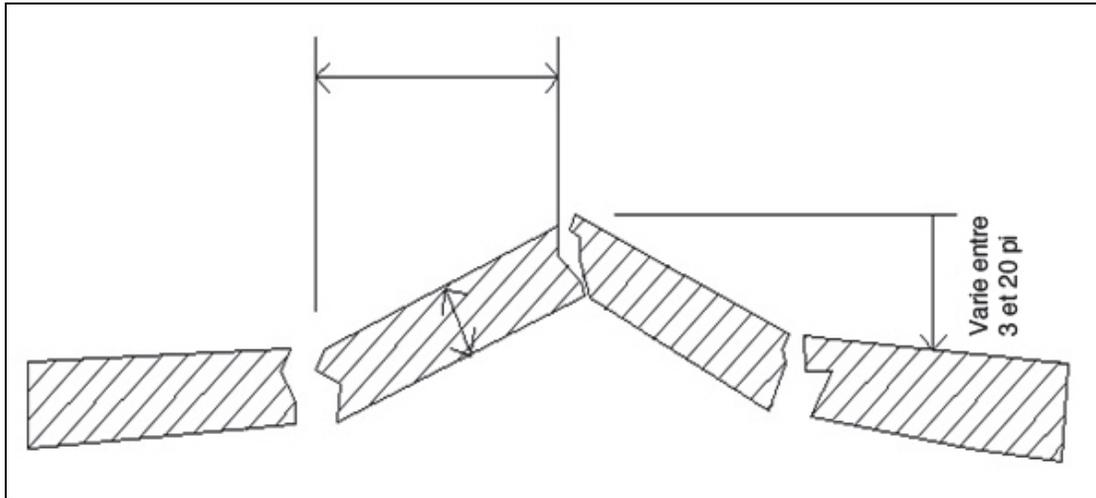


FIGURE 8-4: Formation d'une crête de pression (Source : SMHI 2008)

Le comblement des fissures et des crêtes de pression requiert le même type de solution. Un pont doit être installé sur la zone fragilisée pour permettre le passage sécuritaire de la circulation, tel que montré à la Figure 8-5.

La sécurité des usagers de la route est primordiale lors du passage d'une crête de pression. Les crêtes de pression doivent être bien identifiées et dotées d'une signalisation adéquate de façon à canaliser la circulation sur le site de la traverse.

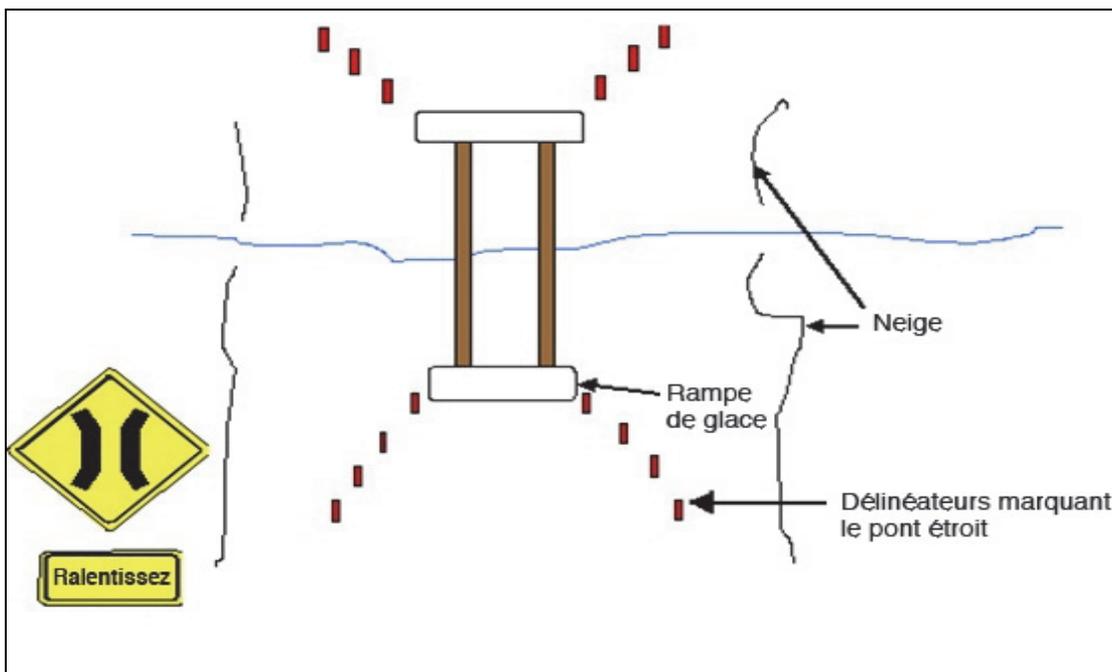


FIGURE 8-5: Vue en plan d'une traverse (Source : SMHI 2008)

La construction d'une traverse consiste à découper et à niveler la crête de pression existante de façon à pouvoir y installer deux billes de bois ou rampes d'acier. Si les rampes ne reposent pas entièrement sur la glace, on ne doit pas tenter de traverser avant qu'elles ne soient mises à niveau. Si les rampes sont instables, toute tentative d'y accéder pourrait blesser les occupants du véhicule et endommager le véhicule ou les rampes. Il faut toujours faire preuve d'une très grande prudence près des fissures ouvertes ou des crêtes de pression.

8.4 AQ/CQ – SURVEILLANCE ET ENTRETIEN

On entend par assurance de la qualité/contrôle de la qualité (AQ/CQ) la série de procédures prévues destinées à attester de la conformité de la construction de la route de glace avec un ensemble de critères de qualité. Ces critères sont ceux établis lors du processus de planification et de conception et doivent inclure les épaisseurs de glace minimales pour les charges de véhicules requises, la largeur de la route, les besoins en matière de déblaiement, la qualité de la glace, la période d'exploitation ainsi que le nombre de charges. Aux fins du présent Guide :

- Le contrôle de la qualité (CQ) s'entend des procédures que l'entrepreneur chargé de la construction de la route de glace suit pour attester de la conformité de la route de glace avec l'ensemble de critères de qualité définis, et
- L'assurance de la qualité (AQ) s'entend des procédures qu'un tiers indépendant de l'entrepreneur chargé de la construction de la route de glace suit pour attester de la conformité de la route de glace avec un ensemble de critères de qualité définis.

Le CQ repose habituellement sur les mesures de l'épaisseur de glace et sur les inspections générales de la qualité de la route. Un programme de contrôle de la qualité doit inclure au minimum :

- Des mesures de l'épaisseur de la glace
- Une inspection visuelle au moyen de trous percés qui permettent de détecter une glace de mauvaise qualité de même que des poches d'air et d'eau
- Une inspection visuelle de la surface de glace (formation de fissures inhabituelles), et
- Des mesures du franc-bord.

Des mesures supplémentaires de QC, telles que des essais de résistance de la glace et un contrôle des déflexions, peuvent également être requises dans les cas de charges spéciales sur la glace.

Les entrepreneurs expérimentés peuvent assumer l'entière responsabilité de la planification, de la préparation, de la conception, de la construction et de l'exploitation des couvertures de glace.

L'expérience de l'entrepreneur sera déterminante dans le choix du tracé, de l'équipement et des personnes requises pour construire et exploiter avec succès une couverture de glace. Les propriétaires d'une couverture de glace peuvent conserver le contrôle global du projet, mais le rôle de l'entrepreneur demeure essentiel à la réussite de la construction et de l'exploitation de la couverture de glace.

Assurance de la qualité :
« Adapté à l'usage prévu »
ou « conforme du premier coup! ». La qualité est déterminée par les utilisateurs/clients prévus.

On doit tenir compte des attributs suivants lors de l'examen des capacités de l'entrepreneur :

- Son expérience dans la construction de couvertures de glace semblables
- Son expérience dans la construction de couvertures de glace dans la même région
- Son expérience dans l'entretien d'une route de glace
- L'expérience de son personnel clé.
- La disponibilité du matériel de chantier, et
- Son plan de santé et de sécurité sur la glace.

Un contrôle de l'assurance de la qualité par un tiers indépendant peut être requis dans le cadre de projets où un tel contrôle procure un avantage au propriétaire de la route.

8.4.1 Contrôle de la qualité durant la construction

Des mesures périodiques de la glace doivent être prises à mesure que la glace se forme afin d'en vérifier l'état avant d'autoriser le matériel lourd sur la glace. Les mesures de l'épaisseur de la glace peuvent être prises à l'aide de méthodes de profilage de la glace manuelles ou par géoradar (GPR). La sélection d'un véhicule de profilage est fonction de l'épaisseur minimale de glace requise pour le poids du véhicule donné. Une méthode de travail sûre doit être développée et mise en œuvre à l'intention des travailleurs qui prennent ces mesures initiales. Cette méthode doit inclure les tâches suivantes :

- Calculer l'épaisseur minimale de la glace pour des véhicules entièrement chargés à l'aide d'une valeur A correspondant à un risque de faible à tolérable dans l'équation de Gold, pendant la phase de construction (Tableau 6-4)
- Fixer et respecter des limites de vitesse
- Marquer les voies de glace testées
- Circuler uniquement sur les voies de glace testées
- Vérifier auprès d'autres membres du personnel qui ont testé la glace ou qui y ont circulé ou travaillé
- Équiper les véhicules de radios bidirectionnelles et/ou de téléphones satellites et du matériel de sécurité approprié, et
- Suivre une procédure d'appel à la base.

Les mesures de l'épaisseur de glace doivent être examinées par le surveillant de la construction avant d'autoriser tout changement aux travaux de construction, tel que des charges plus lourdes ou l'ouverture de nouvelles voies.

8.4.2 Contrôle de la qualité durant l'exploitation

Le contrôle de la qualité ne prend pas fin avec l'achèvement des travaux de construction de la route de glace. Une fois la route de glace construite, l'entrepreneur doit s'assurer qu'elle peut être utilisée de manière sécuritaire pendant une période de temps donnée telle que requise par le client. Aussi, l'entretien (et la surveillance) de la route fait partie des activités de CQ. La glace est un matériau qui se forme naturellement, et ses propriétés varient avec le temps en raison de changements dans les charges, de température, etc. Ces changements peuvent compromettre la capacité portante de la route de glace; par exemple, les débordements, particulièrement sur les rivières. Durant la formation initiale de la glace, des fissures peuvent se former sur la couverture de glace en raison de processus divers et permettre à l'eau d'inonder la surface (débordement). La couche de glace opaque qui se forme lors de cette inondation non contrôlée est souvent mal cimentée à la glace bleue sous-jacente. Au moyen d'un contrôle, on peut détecter des changements dans la couverture de glace et prendre des mesures correctives (entretien). Les données recueillies pendant la construction de la route de glace peuvent être utilisées comme base à des fins de comparaison avec les données de contrôle recueillies pendant l'exploitation de la route.

Au cours des 20 dernières années, le profilage de la glace par géoradar (GPR) est devenu une méthode plus courante pour mesurer de manière continue et non destructive l'épaisseur de glace sur de vastes zones ou de grandes distances. Le profilage par GPR peut être combiné à des systèmes GPS pour positionner les données. Il doit être effectué par un personnel formé, et les résultats doivent être examinés par des techniciens qualifiés.

8.4.2.1 Contrôle des fissures dans la glace

Les fissures font partie de la couverture de glace, et la plupart d'entre elles résultent de changements dans la température ambiante. On doit vérifier les fissures de surface ouvertes (plus larges que 5 mm) en remarquant leur apparence, en déterminant si elles sont humides ou sèches et en évaluant leur largeur et leur profondeur. Un guide servant à évaluer et à réparer les fissures ouvertes dans la glace est présenté à la Figure 8-6.

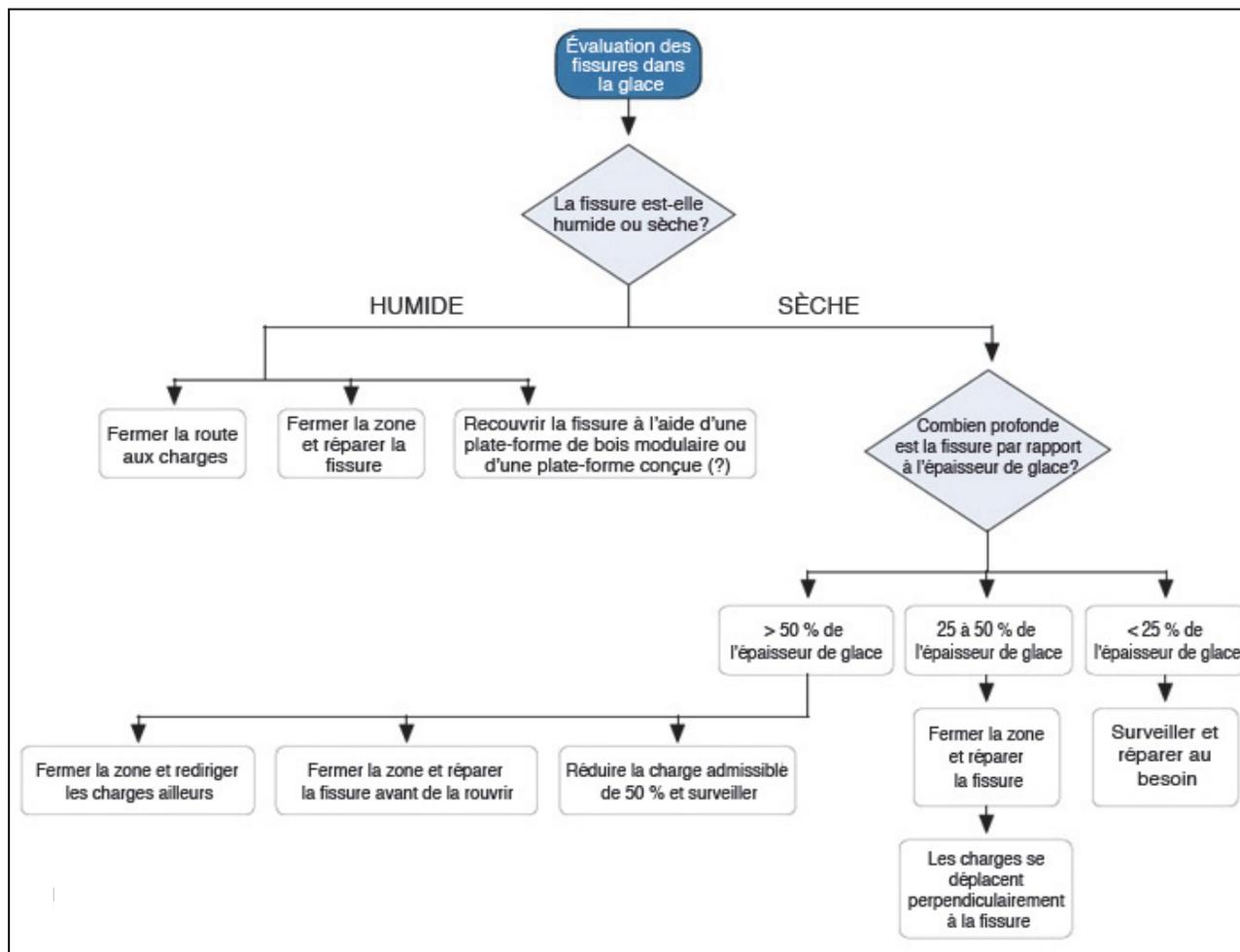


FIGURE 8-6 : Guide servant à évaluer les fissures de surface ouvertes (source : Alberta 2009)

L'eau présente dans les fissures humides indique que les fissures ont atteint la partie inférieure de la couverture de glace. Les fissures humides qui s'étendent sur la couverture de glace sur plusieurs mètres, réduisent la capacité portante de la glace. Des études théoriques ont démontré que la présence d'une seule fissure humide réduit la capacité portante de 50 %. Les zones présentant des fissures humides doivent être balisées et interdites aux véhicules jusqu'à ce qu'elles soient réparées ou qu'on y ait installé un pont. L'option présentant le risque le plus faible est de fermer complètement la zone de la fissure et de faire en sorte que les véhicules la contournent.

Bien que les fissures ouvertes sèches ne pénètrent pas la couche de glace, elles peuvent réduire la capacité de charge de cette dernière. Les zones présentant des fissures sèches ouvertes plus profondes de 50 % que l'épaisseur de glace doivent être fermées et réparées ou leur capacité de charge doit être réduite de 50 % et contrôlée. Les zones présentant des fissures sèches et ouvertes en surface doivent être traitées comme l'indique la Figure 8-6. Le couvert neigeux cache souvent des fissures; le déneigement accroît par conséquent les chances de les détecter.

8.4.2.2 Déflexion de la couverture de glace et franc-bord

Le transport de charges ne cause normalement pas d'importantes déflexions de la couverture de glace. Lorsqu'un véhicule circule sur la glace, la couverture de glace fléchit directement sous la charge. À mesure que le véhicule avance, la couche de glace revient à son niveau initial (déformation élastique). Des déflexions excessives peuvent survenir dans les cas où les véhicules roulent trop rapidement (ondes hydrodynamiques), la glace est surchargée (bancs de neige) ou les charges sont stationnaires sur la glace pendant trop longtemps.

La déflexion de la couche de glace est calculée d'après les mesures qui ont été prises du franc-bord et de l'épaisseur de glace lors du perçage de trous dans la glace. Le franc-bord est la distance qui sépare le dessus du niveau d'eau du dessus de la surface de glace. Pour une glace non chargée, le franc-bord correspond à 0,08 fois l'épaisseur de la glace.

On doit mesurer le franc-bord lorsque la glace présente des signes de surcharge comme le nombre de fissures, tel qu'identifié au chapitre 6. Si le franc-bord est inférieur à 0,04 fois l'épaisseur de la glace, la glace doit alors être dégagée de toute charge et réparée ou la zone doit être fermée.

8.4.2.3 Températures de la glace

Le réchauffement de la glace a des effets négatifs sur la résistance et par conséquent, sur la capacité portante de cette dernière. Le contrôle de la température de la glace permet de mieux évaluer les capacités portantes de la glace lorsque la température de l'air excède les températures de congélation durant des périodes précisées au chapitre 6.

On peut contrôler la température de la glace à l'aide de thermistances ou de thermocouples figés dans la glace, à des endroits prédéterminés, sur toute l'épaisseur de la couverture de glace. Ces dispositifs doivent être contrôlés et leurs lectures enregistrées périodiquement et transmises aux superviseurs et à l'ingénieur de structures.

8.4.3 Entretien

Des travaux et un entretien doivent être effectués pour réparer les fissures, les zones de glace mince ou toute autre section endommagée susceptible de compromettre la capacité portante et/ou la traficabilité de la route de glace. On peut devoir également déneiger la route pour garder la surface dégagée et pour favoriser la formation de glace naturelle.

Les fissures longitudinales, fréquentes sur les routes de glace, doivent être réparées à l'aide d'eau douce ou d'un mélange d'eau et de neige déposé dans la fissure afin que la surface de glace gèle à nouveau. L'orniérage de la surface peut survenir en raison du trafic lourd et de la circulation fréquente. Il est courant de diviser la route en deux et de canaliser la circulation sur une moitié pendant que l'on répare l'autre moitié.

On utilise parfois des plates-formes de bois modulaires ou des poutres pour établir un pont au-dessus de fissures importantes ou humides lorsque les détours routiers ne sont pas possibles.

8.5 FERMETURES DE ROUTE

Il peut être nécessaire de fermer temporairement les couvertures de glace en raison d'intempéries, du mauvais état de la surface ou du mauvais état de la glace. Les intempéries, telles que les blizzards, les conditions de voile blanc ou le brouillard, présentent un risque associé à la visibilité lors des déplacements. Le mauvais état de la surface dû à la poudrerie et aux zones inondées naturellement présente également un risque pour les usagers. Le mauvais état de la glace, associé aux changements dans les niveaux d'eau, à l'érosion de la glace, à de larges fissures ou à l'usure excessive due à l'utilisation, peut accroître le risque de rupture. Les exploitants de la route doivent suspendre toute opération sur la couverture de glace jusqu'à ce que ces aléas aient été éliminés ou contrôlés et que des mesures appropriées aient été prises pour empêcher toute circulation sur la route pendant cette période. Ces mesures comprennent la signalisation, les barrages et le contrôle de la sécurité.

En temps normal, les couvertures de glace sont fermées bien avant que ne commence le dégel printanier et qu'elles aient commencé à se détériorer. La détérioration des couvertures de glace est engendrée principalement par le rayonnement solaire et par le pouvoir réfléchissant de la surface de glace. La formation de la glace cesse et la détérioration commence avant que les températures de l'air n'excèdent le point de fusion de la glace. La température de la glace et la qualité de la glace doivent être contrôlées régulièrement pendant le dégel printanier afin de déterminer si la couverture de glace a la capacité portante voulue pour supporter les opérations sur la glace.

Le rendement de la route de glace peut être prolongé en répartissant la circulation sur deux voies. Les véhicules plus légers peuvent circuler sur une voie durant la journée alors que les véhicules plus lourds peuvent circuler sur l'autre voie pendant la nuit, lorsque la température de l'air est plus froide.

CE CHAPITRE EN BREF

- La gestion de la neige fait partie intégrante des activités de construction et d'entretien de la route.
- On peut choisir parmi trois méthodes de construction différentes selon le calendrier, le budget et l'équipement disponible.
- Le CQ et l'AQ sont utilisés pour déterminer si la route est construite et exploitée conformément aux critères de qualité du projet.
- La surveillance de la route de glace pendant la construction et l'exploitation est une partie importante de la gestion du risque de rupture.

RÉFÉRENCES

Government of Alberta, 2009. *Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta*. Publication No. SH010.

Hayley, D.W. et Proskin, S.A. 2008. *Managing the Safety of Ice Covers Used for Transportation in an Environment of Climate Warming*. 4^e Conférence canadienne sur les géorisques, Québec (Québec).

Masterson, D.M., 2009. *State of the art of ice bearing capacity and ice construction*. Cold Regions Science and Technology 58, invited review, p. 99-112.

Saskatchewan Ministry of Highways and Infrastructure. 2008. *Winter Roads Handbook*.

CHAPITRE 9

EXPLOITATION DES ROUTES D'HIVER

9.0 CONCEPTS GÉNÉRAUX

Les chapitres 1 à 8 ont porté sur des façons très différentes de développer et d'utiliser les routes d'hiver dans le Nord canadien, qu'il s'agisse d'un convoi de traîneaux ponctuel configuré pour ravitailler un site éloigné, d'une liaison terrestre qui relie chaque hiver les collectivités nordiques entre elles ou encore, d'une route industrielle récurrente à fort débit et à charge limite maximale. Chaque type de route est davantage défini par les caractéristiques géographiques (lacs et rivières), les contraintes du terrain du tracé routier et le climat régional. Il n'y a pas unanimité quant à la façon dont une route devrait être exploitée afin que les travailleurs et le public soient convaincus qu'une norme de diligence raisonnables ont été prises pour assurer leur sécurité. Cette norme de diligence doit traiter des dangers implicites que présente la route, dans son objectif, sa conception et sa construction.

APERÇU

- Concepts généraux
- Routes d'hiver pour véhicules légers
- Routes industrielles pour véhicules lourds
- Références



FIGURE 9-1 : Panneaux indiquant les limitations de masse sur une route des Territoires du Nord-Ouest

Chaque route d'hiver a besoin de règles d'exploitation. Ces règles peuvent être aussi simples qu'un panneau indiquant les limitations de masse à l'entrée de la route, comme le montre la Figure 9-1, ou qu'un livre de règlements détaillés tel que l'ouvrage de 25 pages (voir Figure 9-2) que constitue l'entente entre les conducteurs et les propriétaires de la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto. La plupart des routes d'hiver du pays sont aménagées sur des terres publiques et sur des terres appartenant aux autochtones. Voilà pourquoi elles sont accessibles non seulement à l'industrie qui les construit et qui les entretient, mais aussi au public. Bien qu'un plan de route d'hiver soit structuré en fonction d'un type d'opérations en particulier, il arrive rarement que la route serve uniquement à ce type d'opérations. On doit tenir compte de tous les usagers éventuels de la route lors de la structuration du plan opérationnel.

La plupart des opérations des routes d'hiver sont limitées par leur tracé sur les glaces flottantes. Les conséquences d'une rupture de glace peuvent être catastrophiques. Par conséquent, la probabilité qu'une telle rupture survienne doit être très faible afin de bien gérer le risque. On arrive à gérer le risque en trouvant un juste équilibre dans le choix conservateur de la capacité portante admissible de la glace et des contrôles opérationnels en place visant à superviser l'exploitation, tel que décrit au chapitre 6. En général, on adopte une capacité portante de la glace assez conservatrice (un coefficient de sécurité élevé contre les ruptures) dans le cas de routes relativement peu contrôlées, comme toutes les voies publiques réservées aux véhicules légers. Les exploitants industriels qui recherchent une capacité portante maximale de la glace pour répondre à leurs exigences opérationnelles doivent compenser par l'adoption d'un programme de contrôles plus rigoureux. Les paragraphes suivants identifient les éléments types d'un système de contrôle des routes d'hiver pour chacun des deux cas énoncés ci-dessus. Chaque route est différente, et il incombe au propriétaire de s'assurer que les éléments de son système opérationnel soient structurés de façon à représenter un juste équilibre entre la conception et les restrictions d'opération, reflétant ainsi une norme de diligence conforme aux meilleures pratiques disponibles.

Des méthodes d'exploitation supplémentaires concernant les questions de sécurité et d'environnement sont traitées au chapitre 10 (Sécurité des usagers de la route) et au chapitre 11 (Protection de l'environnement).

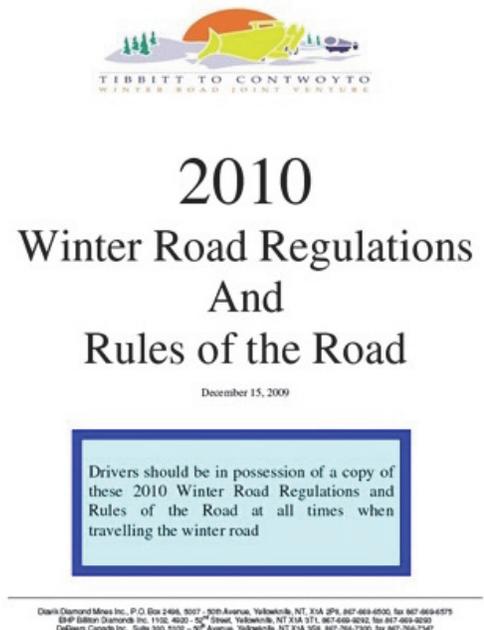


FIGURE 9-2 : Page titre du Guide de règlements pour la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto

9.1 ROUTES D'HIVER POUR VÉHICULES LÉGERS

Les limitations globales de masse pour les routes réservées aux véhicules légers sont relativement faibles, avec une limite supérieure qui interdit l'usage direct de ces dernières par des tracteurs semi-remorques dont la masse totale en charge (M.T.C.) excède 40 tonnes. Les pratiques exemplaires de l'Alberta exigent une épaisseur de glace de 1 m pour atteindre cette limite. Avec l'enlèvement de la neige en début de saison et de bonnes pratiques d'ouverture des routes, on obtient cette épaisseur de glace au milieu d'un hiver type. La formation continue de glace, au-delà du critère minimum fixé par le concepteur, ajoutera un degré de prudence aux opérations de la route, réduisant ainsi l'importance de la distance à respecter entre les véhicules.

La construction et l'exploitation des routes d'hiver pour véhicules légers sont d'ordinaire imparties par les ministères des transports provinciaux ou territoriaux qui ont établi leurs propres lignes directrices en matière de construction et d'exploitation locales. Certaines juridictions, telles que les Territoires du Nord-Ouest, permettent aux véhicules plus lourds de transporter des charges industrielles sur certains réseaux routiers publics, à condition que l'exploitant demande et obtienne un permis pour charges excédentaires. L'octroi d'un tel permis exige de l'exploitant qu'il mette sur pied, à ses frais, un niveau de surveillance de la glace plus élevé, et ce, sous la supervision d'un ingénieur professionnel.

Les provinces et les territoires qui sont dotés de réseaux routiers publics d'hiver bien établis sont l'Ontario, le Manitoba, la Saskatchewan et les Territoires du Nord-Ouest. Ils ont pour pratique de faire appel à des entrepreneurs locaux qui ont développé au fil des ans une aptitude à prédire les conditions de glace le long de leurs tracés routiers respectifs. Ils ne contrôlent pas l'accès à leur réseau routier, mais affichent des panneaux à l'entrée qui indiquent aux usagers si la route est ouverte et quelles sont les limitations en place quant à la M.T.C. maximale. Les panneaux à l'entrée recommandent généralement aux usagers de transporter des chaînes ainsi que du matériel de survie. Des panneaux distincts seront affichés à l'entrée de tous les principaux ponts de glace. Les restrictions relatives aux ponts de glace comprennent la distance permise entre les véhicules et les limites de vitesse dans les passages. La signalisation pour les limites de vitesses est fournie.

L'inspection des routes se fait sur une base régulière, à raison normalement de deux fois par semaine pour les routes de glace et d'une fois par jour pour les ponts de glace. La fréquence des inspections augmente par mauvais temps ou à la suite d'un incident qui a entraîné la fermeture temporaire de la route. L'inspecteur recherchera :

- les amoncellements de neige, les débordements et les fissures humides,
- la signalisation appropriée,
- les automobilistes égarés ou les véhicules abandonnés, et
- les déversements de marchandises dangereuses.

La liste des choses à faire et à ne pas faire contenue aux présentes a été préparée par le GNWT (2007) et ressemble aux autres lignes directrices provinciales qui fournissent des conseils judicieux sur l'entretien

des routes d'hiver. Les points suivants reflètent la version des Territoires du Nord-Ouest, à laquelle quelques améliorations mineures ont été apportées.

Les choses à faire

- S'assurer constamment que la capacité portante de la glace est suffisante pour supporter les véhicules les plus lourds prévus alors. Pour ce faire, il faudra effectuer des relevés périodiques de l'épaisseur de la glace.
- Ouvrir un tronçon précis à sa pleine largeur par une passe unique pour éviter le regel des andains de neige.
- Conserver les andains à une faible hauteur, en général à moins d'un mètre.
- Prévoir une largeur dégagée additionnelle dans les secteurs où la poudrière est un problème, la neige captée sous le vent d'un andain pouvant atteindre une largeur correspondant à 30 fois la hauteur de ce dernier.
- Enlever toute neige poudreuse ou toute nouvelle neige qui peut servir d'isolant à la surface et empêcher la formation de glace tout au long de la construction et de l'exploitation de la route.
- Lors de l'épandage d'eau, appliquer de multiples couches minces et les laisser geler entre chaque application.
- Interdire toute circulation dans les sections fraîchement inondées.
- Surveiller les chutes de températures soudaines et établir des critères clairs quant à la fermeture de la route lorsqu'il y a un risque de formation de fissures humides dû au choc thermique.

Les choses à ne pas faire

- Ne jamais stationner de matériel sur la glace, particulièrement près de bancs de neige pendant de longues périodes (plus de deux heures). Si un véhicule est en panne, le stationner à mi-chemin entre les bancs de neige et demander immédiatement de l'aide.
- Ne jamais faire de multiples passes de courte durée (allers-retours) lors du déneigement du début de saison, et
- Éviter d'ouvrir de nouvelles routes en enlevant la neige la première fois par temps très froid.

9.2 ROUTES INDUSTRIELLES POUR VÉHICULES LOURDS

Les plans d'exploitation d'une route industrielle où la capacité portante de la glace est optimisée non seulement pour la M.T.C. des véhicules, mais aussi pour la configuration des remorques et l'écartement des essieux, nécessitent un contrôle intense et des règles strictes combinées à leur mise en application. Le personnel chargé de l'entretien de la route est présent sur la route et est constamment à l'affût de petites imperfections sur la glace (cratères) qu'il réparera et qui peuvent être précurseurs de faiblesses plus graves dans la couche de glace.

L'épaisseur de la glace est contrôlée quotidiennement par le personnel de l'entrepreneur tout au cours de la période de formation de la glace et sera confirmée à l'aide de profils indépendants périodiques, établis par des géophysiciens professionnels, et ce, à des fins d'assurance de la qualité. Ces données seront ensuite archivées pour consultation future. La capacité portante de la glace est confirmée par un ingénieur professionnel d'expérience dans les domaines de la mécanique des glaces et du fonctionnement des routes d'hiver. Ce degré de diligence raisonnable constitue une exigence pour satisfaire aux normes de sécurité strictes de l'exploitant.

Une procédure opérationnelle que les conducteurs doivent observer est décrite dans un document de « règles de la route » tel que celui présenté à la Figure 9-2. Chaque conducteur doit suivre un programme d'orientation dans le cadre duquel il recevra une copie de ces règles qu'il devra apprendre et auxquelles il accepte d'adhérer avant de circuler avec son camion sur la route d'hiver. Il existe 22 règles régissant la conduite sur la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto, et chacune d'elle est assortie d'une sanction si elle n'est pas respectée. Ces règles sont appliquées par une agence de sécurité à l'aide d'équipements modernes, tels que des radars détecteurs de vitesse.

Les règles de la route comprennent des limitations ainsi que des sanctions assorties dans le cas d'infractions à ce qui suit :

- Limitations de vitesse
- Espacement des camions et des convois
- Arrêts sur les lacs
- Arrêts sur les portages
- Camions chargés qui dépassent en sens inverse
- Priorités de passage
- Procédures de répartition et point de contrôle
- Utilisation de radios bidirectionnelles
- Autorité chargée de la sécurité routière
- Signalement des déversements,
- Rencontres d'animaux sauvages, et
- 11 autres règles concernant le comportement personnel.

L'ensemble de la circulation des camions est contrôlé par un poste de contrôle initial et par des points de contrôle prévus. Ces règles, bien qu'en apparence rigides, offrent une structure importante à un fonctionnement complexe qui s'est avéré sécuritaire tout en respectant l'objectif qui est d'acheminer tous les produits de ravitaillement prévus aux mines en activité.

Les méthodes d'exploitation des routes d'hiver sont en général dictées par les problèmes associés aux traverses de glace. Les opérations relatives aux routes d'hiver publiques ont également trait aux variations des connaissances, de l'état de préparation et de la tolérance au risque du public. Les routes d'hiver industrielles seront dotées d'exigences plus strictes en raison de charges plus élevées dues à la circulation et à un volume de circulation plus dense; elles feront également l'objet d'une surveillance et d'un contrôle d'un niveau accru afin de mieux apprécier les objectifs de gestion du risque et d'y répondre.

CE CHAPITRE EN BREF

Dans le cas des routes d'hiver, les méthodes d'exploitation sont généralement dictées par les problèmes associés aux traverses de glace. Les opérations relatives aux routes d'hiver publiques ont également trait aux variations des connaissances, de l'état de préparation et de la tolérance au risque du public. Les routes d'hiver industrielles seront dotées d'exigences plus strictes en raison des charges plus élevées dues à la circulation et à un volume de circulation plus dense.

CHAPITRE 10

LA SÉCURITÉ DES USAGERS

10.0 INTRODUCTION

Le danger et le risque sont associés aux travaux et aux déplacements sur les routes d'hiver et de glace, mais une planification et une communication efficaces, combinées à une sensibilisation et à une préparation, peuvent fournir un environnement relativement sécuritaire, à la fois pour les employés des administrations routières et pour le public voyageur. La sécurité relève de l'employeur, de l'administration routière et des particuliers.

De nombreuses juridictions canadiennes bénéficient de lois, de procédures opérationnelles et de guides pratiques qui assurent des méthodes d'exploitation sécuritaires en matière de construction et d'exploitation des routes d'hiver et de glace. Il s'agit entre autres de :

- « *Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta* », Santé et sécurité du travail, Gouvernement de l'Alberta, 2009
- « *Field Guide to Ice Construction Safety* », ministère des Transports, Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2007
- « *Winter Roads Handbook* », ministère de la Voirie et du Transport de la Saskatchewan, Novembre 2007, et
- « *Contractor's Manual for the Construction and Maintenance of Winter Roads, Seventh Edition* », Infrastructure et Transports Manitoba, Décembre 2007.

Le présent chapitre n'a pas pour but de remplacer ou d'infirmer l'information présentée dans ces guides ou dans d'autres ouvrages en usage au sein de l'industrie. Des renseignements ou des exemples choisis, tirés de ces guides, ont été pris en compte dans l'élaboration du présent chapitre. Les lecteurs sont invités à se référer à ces guides ou à d'autres ouvrages pour un traitement plus détaillé des sujets présentés ou pour une orientation plus précise.

APERÇU

- Guides pertinents
- Notions d'évaluation, d'élimination et de contrôle des aléas
- Sécurité des constructeurs
- Sécurité des conducteurs
- Sécurité du public
- Plans de réponse aux incidents

Les dangers et les aléas associés aux travaux et aux déplacements sur les routes d'hiver et de glace comprennent la rupture de la glace et l'immersion en eau froide, sans compter tous les autres aléas associés aux travaux et aux déplacements sur les voies publiques (collisions, blessures, pannes, etc.). Ces aléas peuvent être accrus ou exacerbés par des conditions hivernales et de froid extrêmes et par l'éloignement des régions. Le présent chapitre tente de présenter la notion de gestion de la sécurité au moyen de l'évaluation, de l'élimination et /ou du contrôle des aléas – et à en traiter –, compte tenu des besoins généraux des travailleurs ou des constructeurs routiers, des exploitants ou des conducteurs commerciaux et du public en général.

10.1 NOTION D'ÉVALUATION, D'ÉLIMINATION ET DE CONTRÔLE DES ALÉAS

L'élimination ou le contrôle des aléas sont la clé d'un lieu de travail et d'un milieu routier relativement sécuritaires. La sécurité est relative au milieu environnant car, bien que tous les incidents soient évitables, l'administration routière et ses employés ne peuvent contrôler ou influencer tous les facteurs contribuant à la fréquence ou à la gravité des incidents. À l'aide d'une planification, d'une éducation et d'une communication appropriées, certains aléas peuvent être contrôlés de façon à ce qu'un incident soit moins susceptible de se produire, ou la gravité d'un incident susceptible de se produire se trouve grandement réduite. Si la probabilité qu'un accident se produise est très élevée et/ou que la gravité de l'incident est très élevée, des mesures doivent alors être prises non seulement pour contrôler l'aléa, mais aussi pour l'éliminer.

Par exemple, les routes d'hiver et de glace sont exploitées par temps froid et dans des régions éloignées. Les prévisions météorologiques régionales pour une journée donnée peuvent être bonnes, mais les conditions climatiques sont peu prévisibles et peuvent se dégrader rapidement. Un travailleur qui s'aventure sur la route pour une inspection ou une patrouille de routine peut rencontrer de mauvaises conditions météorologiques qui limitent la visibilité et le déplacement, le forçant à s'arrêter. Pire encore, son véhicule peut tomber en panne ou se retrouver bloqué par le mauvais temps, entraînant une situation susceptible de mettre sa vie en danger. La météo ne peut être contrôlée, mais l'état de préparation d'un travailleur face à cette dernière le peut. Même si le risque d'incident est faible, le travailleur peut en réduire la gravité en sachant comment survivre par temps froid, en comprenant le besoin de demeurer dans son véhicule et en gardant, en tout temps, un matériel de survie approprié de même qu'un équipement de protection individuel dans le véhicule. Le fait de s'assurer que le véhicule et le matériel de communication sont bien entretenus et en bon état de marche avant le départ permettra également de contrôler le risque de rester bloqué sur la route et de se retrouver dans une situation qui pourrait mettre sa vie en danger.

Le mauvais temps ou des conditions météorologiques difficiles pour une journée donnée constituent également un autre exemple. Dans ce cas, la possibilité qu'un travailleur se retrouve bloqué est beaucoup plus grande que dans l'exemple précédent, et la gravité (situation susceptible de mettre sa vie en danger) est également élevée. Le travailleur doit éliminer l'aléa et choisir de ne pas se déplacer. Une organisation peut aider ce dernier à prendre cette décision par l'éducation et par une formation de sensibilisation aux dangers. Mais elle peut aussi disposer de procédures d'exploitation standard ou de contrôles administratifs en place qui permettront au travailleur de prendre systématiquement la décision de ne pas se déplacer par un temps pareil.

Les lignes directrices du gouvernement de l'Alberta intitulées « *Best Practices for Building and Working Safety on Ice Covers* » contiennent un organigramme servant à évaluer, à éliminer et à contrôler les aléas. Cet organigramme (ainsi que le guide) relève d'une approche de gestion du risque applicable aux travaux exécutés sur des couvertures de glace flottante. Avec de légers changements, il peut également être applicable aux routes d'hiver. L'organigramme présenté à la Figure 10-1 présente cette approche de gestion du risque.

L'identification des aléas constitue la première étape, et une planification des opérations à chaque étape de la construction et de l'exploitation de la route d'hiver ou de glace est requise afin d'identifier les aléas avant qu'ils ne surviennent réellement. Les paramètres associés au développement et à l'exploitation d'une route d'hiver et d'une route de glace doivent être identifiés dès le départ. Ils comprennent entre autres les éléments suivants :

- La distance à parcourir entre les aires de service
- L'accès à une couverture cellulaire
- L'accès à une couverture radio
- La fiabilité des prévisions météorologiques
- La durée de la charge
- Le type de couverture de glace
- Le calendrier et la période d'exploitation
- Les capacités de l'entrepreneur, et
- Le choix du tracé routier

L'étape de planification doit également tenir compte des personnes qui sont exposées à cet aléa ou les identifier : les travailleurs, les conducteurs commerciaux ou le public voyageur. Les actions mises en œuvre pour éliminer ou contrôler l'aléa seront entreprises par l'administration routière ou par les agents et les employés; cependant, la nature de ces actions sera tributaire de ceux qui sont exposés à l'aléa (soit les utilisateurs finaux). Les exemples présentés ci-dessus identifient les travailleurs comme étant les personnes exposées à l'aléa. Si le premier exemple présenté porte sur le public voyageur, l'administration routière n'a pas la capacité voulue pour contrôler cet aléa en dictant à un exploitant privé comment entretenir ou équiper ses véhicules afin que ceux-ci puissent circuler sur les routes d'hiver. Cependant, elle peut fournir des rapports sur l'état des routes, des prévisions météorologiques et de l'information au public dans le but d'encourager les exploitants privés à se préparer adéquatement. Dans le second exemple, si les conditions météo sont très mauvaises et présentent un risque élevé pour le public voyageur, l'administration routière peut choisir de fermer la route, éliminant ainsi l'aléa. Elle doit informer le public de cette fermeture à l'aide de rapports sur l'état des routes, d'annonces publiques et de dispositifs de signalisation tels que des panneaux routiers et des barrages.

Les paragraphes qui suivent traitent plus en détail de chacun des trois utilisateurs finaux (travailleurs, conducteurs commerciaux et public).

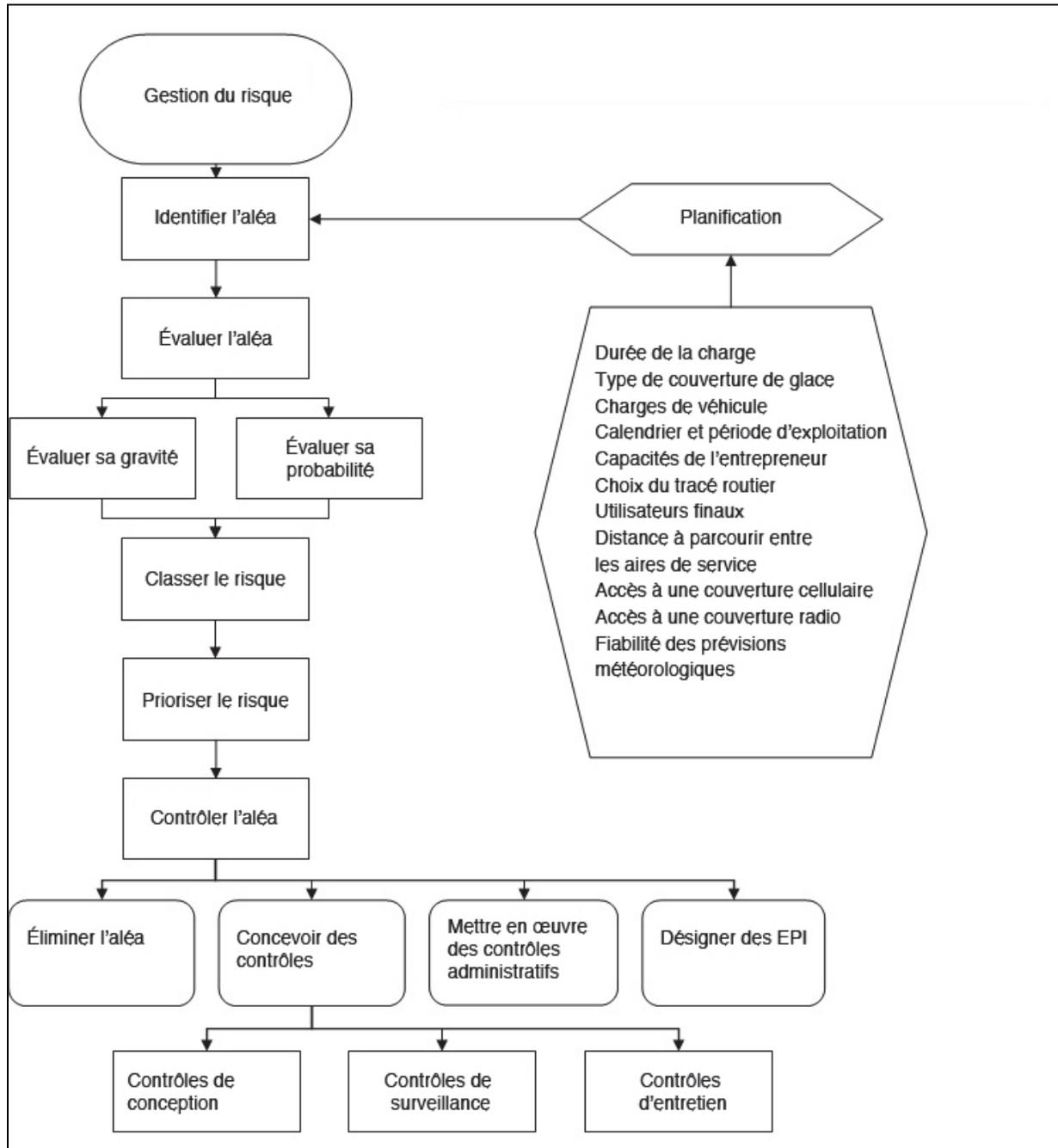


FIGURE 10-1 : Organigramme – Approche de gestion du risque (Gouvernement de l'Alberta, 2009)

Selon l'approche de gestion du risque, un organigramme est utilisé pour faciliter l'identification et l'évaluation des aléas et de leurs conséquences. Une autre exigence consiste à documenter ces aléas dans un « plan de gestion du risque » ou dans un « plan de sécurité », à les communiquer aux travailleurs et à les examiner, à les réviser et à les mettre à jour périodiquement au besoin. Les lignes directrices émises par le gouvernement du Manitoba (2007), mentionnées au paragraphe 10.1, comprennent un tableau des activités de construction et d'entretien, les aléas ou dangers qui y sont associés de même que les actions prises pour assurer des conditions de travail sûres. Un format tabulaire semblable peut être utilisé pour documenter plus en détail un plan de gestions du risque, y compris la documentation des éléments figurant dans l'organigramme.

10.1.1 Sécurité des travailleurs

Les travailleurs responsables de la construction et de l'entretien des routes d'hiver sont les premiers à utiliser la route. Il est impératif que les administrations routières et leurs agents évaluent les aléas identifiés, en tiennent compte et mettent en place la formation et les procédures appropriées qui permettront à leurs travailleurs de prendre les décisions qui s'imposent pour assurer un milieu de travail sécuritaire. Les règlements locaux portant sur le travail solitaire et l'isolement s'appliquent également.

Les lignes directrices contenues au paragraphe 10.1 fournissent de l'information pertinente sur la sécurité des travailleurs, y compris la nécessité de disposer d'un équipement fiable et adéquat et d'une formation appropriée pour le travail réel à effectuer et pour la survie par temps froid.

10.1.2 Sécurité des conducteurs commerciaux

Bien que les conducteurs commerciaux possèdent une formation plus poussée que le public en général sur le fonctionnement des véhicules, ils font face à des aléas supplémentaires. Ils conduisent de plus gros véhicules qui réagissent mal dans les pentes abruptes ou sur des routes plus étroites, et ils transportent des charges plus lourdes qui nécessitent une plus grande capacité portante de la glace. L'éducation et la sensibilisation sont importantes pour ces utilisateurs finaux de même qu'une communication des conditions routières et d'exploitation par le biais de rapports sur les conditions et la signalisation routières. La mise en application est importante dans le contrôle et l'élimination des aléas, mais les effets peuvent ne pas être aussi vastes qu'une stratégie de communication efficace. Pour rendre efficaces l'éducation, la sensibilisation et la communication relatives aux conditions routières et d'exploitation, les administrations routières peuvent conclure des partenariats, ou du moins orienter les communications, avec des organismes commerciaux locaux chargés de l'exploitation.

10.1.3 Sécurité du public

La sécurité du public est menacée si celui-ci est mal préparé lors de ses déplacements sur des routes d'hiver ou de glace, ou s'il ne respecte pas la régulation du trafic ou les fermetures de route. Comme pour tous les utilisateurs finaux, des collisions mineures ou des retards sur une route d'hiver ou de glace peuvent créer une situation pouvant mettre la vie des utilisateurs en danger, et toute interférence avec la fluidité de la circulation constitue un problème de sécurité publique (ministère des Transports du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2007). Si tous les autres aspects de la route d'hiver ou de glace atteignent un niveau de fonctionnement acceptable, l'administration routière doit alors se fier au niveau d'éducation et de sensibilisation du public en matière de conduite sécuritaire sur les routes d'hiver ou de glace. Les autorités routières peuvent lancer des campagnes de communication et d'information du public, faire des annonces publiques périodiques sur l'état de la route et sur les conditions d'exploitation d'après les inspections qui sont effectuées sur une base régulière, mettre en place la signalisation appropriée de même que des fermetures de route, et entreprendre des activités visant à renforcer l'application des règlements.

10.2 PLAN DE RÉPONSE AUX INCIDENTS

Malgré un haut niveau de préparation et de formation, des incidents peuvent survenir. Le cas échéant, l'objectif est de disposer de plans et de procédures normales d'exploitation visant à :

- Sécuriser le site afin d'assurer la sécurité des victimes et des répondants
- Prévenir l'aggravation de l'incident (soit passer d'un incident avec blessés à un incident mortel)
- Traiter l'incident et revenir à un mode d'exploitation normal de la route, et
- Examiner l'incident et réviser attentivement le plan de gestion du risque en vue de prévenir tout incident semblable dans l'avenir.

Les étapes de base de la réponse aux incidents incluent les opérations suivantes :

- Sécuriser le site afin d'assurer la sécurité des victimes et des répondants
- Évaluer et traiter ceux qui sont en danger immédiat
- Transmettre la demande d'assistance, et
- Assurer le suivi et établir le rapport.

Les plans de réponse aux incidents ou aux urgences doivent être préparés en fonction de l'endroit où a eu lieu l'incident et des conditions d'exploitation dans lesquelles il a eu lieu, et ils doivent être conformes à la législation en matière de santé et de sécurité du travail. Les plans doivent comprendre :

- L'identification des incidents et des urgences potentiels
- Les procédures de première réponse à un incident ou à une urgence
- Les procédures de sauvetage et d'évacuation,

- L'identification des intervenants d'urgence
- L'identification, l'emplacement du matériel d'urgence et les procédures opérationnelles s'y rapportant
- Les exigences en matière de communication d'urgence et de comptes rendus, et
- Les exigences en matière de formation en premiers soins et en intervention en cas d'urgence

CE CHAPITRE EN BREF

- Une approche de gestion du risque peut servir à fournir un environnement de travail et un contexte de voyage relativement sûrs sur les routes d'hiver et de glace.
- L'approche identifie d'abord l'aléa, en évalue la gravité et la probabilité, de même que la priorité du risque qui y est associé, et présente des mesures visant à contrôler ou à éliminer l'aléa.
- L'évaluation de l'aléa et des mesures subséquentes qui sont présentées seront plus efficaces si elles tiennent compte de l'utilisateur final.
- Même avec une très bonne préparation, des incidents peuvent se produire. Un plan de gestion du risque est d'autant plus efficace qu'il fournit des pratiques et des procédures conçues pour prévenir qu'un incident ne s'aggrave (par ex., un accident avec blessés qui devient un accident mortel), pour faire face à l'incident et pour revenir à un fonctionnement normal, puis pour réviser adéquatement par la suite l'incident et le plan de gestion du risque en vue de prévenir la répétition de tout incident similaire.

RÉFÉRENCES

Government of Alberta, 2009. « *Best Practices for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta* », Occupational Health and Safety.

Government of Manitoba, 2007. « *Contractor's Manual for the Construction and Maintenance of Winter Roads* », Department of Infrastructure and Transportation.

Government of Northwest Territories, 2007. « *Field Guide to Ice Construction Safety* », Department of Transportation.

Government of Saskatchewan, 2007. « *Winter Roads Handbook* », Ministry of Highways and Engineering.

CHAPITRE 11

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

11.0 RÉGLEMENTATIONS ENVIRONNEMENTALES

Diverses réglementations nationales, provinciales et territoriales s'appliquent à la construction, à l'exploitation et à la supervision des routes d'hiver. Nombre de ces réglementations ont été développées dans le but d'atténuer les incidences négatives sur l'environnement, notamment sur les sols et sur l'eau.

Le Canada réglemente la construction, l'exploitation et la supervision des routes d'hiver en émettant des permis d'aménagement du territoire (ADT) en consultation avec l'inspecteur régional approprié. Le ADT émis fournit de nombreuses spécifications au sujet des routes d'hiver, telles que la date à laquelle la construction peut commencer, le manteau neigeux minimum et la profondeur de gel requise pour protéger la couche supérieure de la toundra, ainsi que la quantité d'eau qui peut être prélevée des lacs et des rivières.

Pêches et Océans Canada (MPO) protège les poissons et leur habitat. Le guide *Land Development Guidelines for the Protection of Aquatic Habitat* qu'il a émis stipule que tous les développements dans des eaux, ou à proximité d'étendues d'eau qui contiennent des poissons de mer ou des poissons d'eau douce de même que leur habitat, requièrent l'approbation du MPO et du ministre provincial de l'environnement (MPO, 1993).

Les exigences provinciales et territoriales varient d'un bout à l'autre du pays. Comme les réglementations provinciales et territoriales ne sont pas traitées dans le présent Guide, il importe de communiquer avec les organismes de réglementation de la juridiction dans laquelle sera aménagée la route d'hiver pour connaître la réglementation et les exigences précises en vigueur dans cette juridiction. Des exemples de permis et d'autorisations additionnels qui peuvent être requis comprennent des permis d'utilisation des eaux, une autorisation liée aux pêches, des permis de coupe d'arbres et un permis d'accès à une voie publique.

Les exigences en matière de permis pour les routes d'hiver peuvent varier selon les modifications apportées aux tracés routiers et aux demandes de circulation. Ces routes étant souvent utilisées pour accéder à des sites éloignés, il n'est pas rare de rencontrer des éléments du terrain qui nécessitent la protection de l'environnement.

APERÇU

- Réglementations environnementales
- Protection des étendues d'eau
- Protection des terrains vulnérables
- Fermeture et retrait des routes d'hiver
- Prévention et confinement des déversements

De nouvelles routes et la réutilisation de routes historiques peuvent nécessiter un examen sur le terrain dans le but d'identifier des éléments uniques du milieu qui peuvent exiger l'obtention d'autres permis et licences. Ce peut être le cas également des routes permanentes qui nécessitent une utilisation croissante de ressources pour leur construction dans le but de satisfaire aux demandes grandissantes de trafic.

11.1 PROTECTION DES ÉTENDUES D'EAU

Les étendues d'eau doivent être protégées de l'érosion et de l'accumulation de sédiments dans l'eau, d'une baisse de la qualité de l'eau et des effets nuisibles sur les poissons et leur habitat.

Afin de prévenir l'accumulation de sédiments dans l'eau due à l'érosion, un tampon de végétation d'au moins 30 m de largeur doit être laissé en place entre les routes et les étendues d'eau. Afin de réduire l'érosion des sols à un passage de cours d'eau, les rives du cours d'eau doivent avoir une pente douce, et au moins 10 cm de glace et de neige devraient recouvrir les rives avant l'ouverture de la route d'hiver. On doit utiliser de la neige propre pour construire les approches des passages afin d'éviter que des débris ne se retrouvent dans le cours d'eau au printemps.

Les ponts de glace, aménagés sur des étendues d'eau qui ne gèlent pas normalement jusqu'au fond, ne doivent pas obstruer l'écoulement d'eau. Une telle obstruction peut causer une digue de glace sur le cours d'eau et nuire aux poissons et aux mammifères marins qui y vivent.

Lors de la construction de routes d'hiver recouvertes de glace et de portages, l'eau est souvent prélevée des lacs le long du tracé routier. On doit obtenir une approbation du MPO avant tout prélèvement d'eau. Le MPO a émis un protocole portant sur les prélèvements d'eau l'hiver à partir d'étendues d'eau recouvertes de glace dans les Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut (MPO, 2010). Pour les travaux qui nécessitent le prélèvement de plus de 100 m³ d'eau pendant la saison des glaces :

Exemple pratique – Les réglementations de l'Alberta

En Alberta, l'utilisation de terres publiques pour l'aménagement de routes d'hiver relève de la *Public Lands Act*. Un rapport d'état sur l'environnement doit être complété et déposé auprès de la *Dispositions and Technical Services Branch* (Division des dispositions et des services techniques) du *Sustainable Resource Development* (Développement durable des ressources).

Avant qu'un pont de glace ou qu'un remblai de neige puisse être construit sur un cours d'eau ou une rivière, un avis d'énoncé opérationnel (*Operational Statement notification form*) pour les travaux doit être soumis à l'examen du MPO. Le ministère a des restrictions quant aux ponts de glace; par exemple, il ne permet habituellement pas que l'on perturbe le lit d'une rivière.

Selon l'emplacement d'un pont de glace ou d'un remblai de neige, il se peut que la construction de ce dernier doive être approuvée en vertu de l'*Alberta Environment Water Act*.

Les ponts de glace et autres passages d'hiver ne nécessitent pas une demande ou une approbation en vertu du Programme de protection des eaux navigables (*Navigable Waters Protection Program*), parce qu'ils sont classés comme des ouvrages secondaires en vertu de l'Arrêté sur les ouvrages et les eaux secondaires (*Minor Works and Waters Order*). Cependant, la réglementation stipule que tous les éléments de l'ouvrage doivent être entièrement retirés du cours d'eau avant la débâcle printanière.

- Le prélèvement total d'eau à partir d'une seule source d'eau pour un ou des utilisateur(s) ne doit pas excéder 10 % du volume disponible à moins que l'épaisseur de glace maximale prévue soit supérieure ou égale à la profondeur maximale de l'étendue d'eau
- On peut prélever de l'eau uniquement dans des étendues d'eau dotées d'une profondeur d'eau minimale de 1,5 m sous le couvert de glace maximal, et
- Le sondage du plan d'eau doit être effectué à l'aide d'une méthode de sondage en profondeur continue et précise, telle qu'un géoradar (GPR). Le calcul du volume requiert (i) au moins une section longitudinale et (ii) des sections perpendiculaires espacés entre eux d'au plus 500 m.

Le MPO doit être informé de tout projet susceptible d'avoir une incidence sur les poissons et leur habitat, avant qu'il soit entrepris, de sorte qu'il puisse évaluer l'impact du projet.

Si les poissons et leur habitat risquent d'être touchés, d'autres sites et des options d'atténuation ou de compensation doivent être étudiés avant que le projet ne soit approuvé en vertu de la Loi sur les Pêches et qu'une lettre d'autorisation ne soit émise par le MPO. Un projet ne sera pas approuvé si les répercussions du projet sont inacceptables, qu'il n'y a pas d'autres sites disponibles et qu'il n'est pas possible d'en atténuer ou de compenser les effets négatifs.

11.2 PROTECTION DU TERRAIN

Afin de protéger le terrain environnant contre l'érosion ou l'affaissement, une route aménagée sur un sol sec et stable au niveau du gel est préférable. De plus, une route aménagée sur un terrain bas entraînera moins d'érosion du sol qu'une route aménagée sur un terrain surélevé.

Au Canada, les terrains varient beaucoup d'une région à l'autre. Il importe d'identifier les aspects vulnérables du terrain sur lequel la route sera aménagée, y compris tous les reliefs qui sont protégés et que l'on devra éviter. Par exemple, dans les Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut, il est interdit aux véhicules et aux équipements de circuler à moins de 150 m des pingos, ces buttes à cœur de glace qui se retrouvent uniquement dans les régions de pergélisol.

La construction d'une route d'hiver ne devrait pas commencer avant que le sol ne soit gelé ni recouvert d'une couverture de neige minimale stipulée dans le permis d'aménagement du territoire. La neige au sol protégera la surface de ce dernier de même que la végétation. Le précompactage de la neige en utilisant d'abord des véhicules plus légers, après que la route ait été ouverte à la construction, réduit au minimum la perturbation de la surface du sol qui résulte de l'utilisation de traîneaux ou de lames. Il doit y avoir au moins 10 cm de neige compactée sur la route pour qu'on autorise les véhicules lourds à roues à y circuler.

On devrait utiliser des patins champignons ou des lames de lissage pour soulever les lames de buteur du sol lors du déneigement ou du compactage de la neige afin d'éviter de couper la partie supérieure des buttes de terres (buttes gazonnées), des tussacks (touffes d'herbe) ou des saillies, ce qui risquerait de provoquer un dégel du sol et un affaissement au printemps. Les andains de neige produits par le déneigement doivent comporter des ouvertures à intervalles réguliers, afin que les animaux sauvages puissent passer et que les eaux de fonte puissent s'écouler au printemps.

11.3 FERMETURE DE LA ROUTE ET ENLÈVEMENT DU MATÉRIEL

La date de fermeture d'une route d'hiver est indiquée dans le l'ADT. On doit fermer les routes d'hiver avant le dégel du sol et avant que la circulation des véhicules ne provoque un orniérage. Étant donné que la fermeture dépend des conditions climatiques de l'année, l'inspecteur responsable de l'ADT des terres doit s'assurer que la route fermera tôt lors d'une année chaude ou permettra qu'elle ferme plus tard lors d'une année particulièrement froide. Alors que les températures se réchauffent et que le nombre d'heures d'ensoleillement augmente, la date de fermeture peut parfois être reportée en fermant la route durant le jour et en l'ouvrant uniquement la nuit, les températures étant alors plus froides.

Une route d'hiver commence à se détériorer d'abord aux approches des rivières ou des lacs, sur les talus exposés au sud et sur les tronçons de route qui comportent des surfaces sombres. Pour ralentir la fonte et le dégel de la route dus aux surfaces sombres, on doit y laisser une couche de neige propre.

Tous les déchets, les produits pétroliers et l'équipement doivent être retirés de la route d'hiver avant sa fermeture. Pour fermer un passage de rivière, on doit retirer les ponts de glace et les remblais de neige avant la débâcle en vue de permettre l'écoulement de l'eau et le libre passage des poissons. Une autorisation peut être donnée pour le retrait partiel seulement des ponts de glace et des remblais de neige. Dans certains cas, une entaille en forme de V découpée dans le centre du pont de glace ou du remblai de neige permet à l'eau de s'écouler dans la rivière et provoque l'enlèvement du reste de la neige ou de la glace pendant la crue printanière. L'enlèvement des passages de cours d'eau doit se faire progressivement le long de l'emprise afin de réduire au minimum les travaux à exécuter dans le cours d'eau.

Lorsqu'une route d'hiver est mise hors service, elle doit être remise en état conformément au plan d'abandon approuvé. Les exigences de remise en état peuvent être précisées dans le permis d'ADT des terres. L'utilisation continue d'une route abandonnée pouvant causer une érosion, il peut être nécessaire de placer des débris et des billes sur l'emprise afin d'empêcher le public d'utiliser la route abandonnée.

11.4 PRÉVENTION ET CONFINEMENT DES DÉVERSEMENTS

Les déversements d'hydrocarbures, de produits chimiques ou d'autres matières dangereuses peuvent avoir un impact négatif grave sur l'environnement. En cas de déversement, celui-ci doit être signalé sur-le-champ aux compétences appropriées de la juridiction.

Un plan d'intervention en cas de déversements doit être mis en place avant d'entreprendre la construction d'une route d'hiver. Les Territoires du Nord-Ouest et le Nunavut exigent qu'un tel plan soit soumis avec la demande du permis d'aménagement du territoire. Ce plan doit prévoir les étapes à suivre lors d'un déversement, les ressources disponibles sur place qui s'occuperont du déversement de même qu'une liste d'autorités, d'agences et de personnes qui devront être informées du déversement. Tous ceux qui travaillent sur la route d'hiver doivent connaître le plan d'intervention en cas de déversement de manière à pouvoir répondre efficacement le cas échéant. Une trousse d'intervention en cas de déversement doit être disponible sur place, dans le cadre du plan d'intervention en cas de déversement.

Le matériel doit être bien entretenu et en bon état de marche afin de prévenir les déversements d'hydrocarbures par de l'équipement qui fuit. Des cuvettes d'égouttage peuvent être placées sous ces équipements lorsque ceux-ci ne sont pas utilisés afin de recueillir les fuites d'hydrocarbures.

En cas de déversement, celui-ci doit être contenu et faire l'objet d'un rapport. Par la suite, des photographies de son étendue doivent être prises et une stratégie de nettoyage doit être élaborée.

CE CHAPITRE EN BREF

Des règlements protègent les étendues d'eau, les terrains vulnérables de même que les poissons et leur habitat. Il faut déterminer avec les autorités réglementaires quels sont les licences, les permis et autres exigences requis pour les routes d'hiver situées dans différentes provinces et dans différents territoires. Les étapes visant à protéger les étendues d'eau sont identifiées. Les exigences quant à la fermeture et au retrait des routes d'hiver, et à la prévention et au confinement des déversements y sont présentées.

RÉFÉRENCES

Cott, P. and Moore, J.P. 2003. *Working near Water: Considerations for Fish and Fish Habitat, Reference and Workshop Manual – Northwest Territories.*

Pêches et Océans Canada. 2010. *MPO Protocol for Winter Withdrawal from Ice-covered Waterbodies in the Northwest Territories and Nunuvut.*

Pêches et Océans Canada. 2007. Ponts de glace et le remplissage de neige. Énoncé opérationnel (version 3.0)

Pêches et Océans. 1993. *Land Development Guidelines for the Protection of Aquatic Habitat. September 1993.*

Government of Alberta. 2009. *Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta.* Publication n° SH010.

Government of Northwest Territories, Department of Transportation, 2007. *A Field Guide to Ice Construction Safety.*

Affaires indiennes et du Nord Canada. 2010. Lignes Directrices sur l'aménagement des Terres du Nord - Accès : routes et sentiers.

Tibbitt to Contwoyto Winter Road Joint Venture, December 2009. *2010 Winter road regulations and rules of the road.* Guidelines issued by Diavik Diamond Mines Inc., BHP Billiton Diamonds Inc., and DeBeers Canada Inc.

ANNEXE A

COMPARAISON DES GUIDES CANADIENS PORTANT SUR LES TRAVAUX OU LES DÉPLACEMENTS SUR LES GLACES FLOTTANTES



Comparaison des guides canadiens portant sur les travaux ou les déplacements sur les glaces flottantes

| Catégorie | Alberta (avant 2009) | Territoires du Nord-Ouest | Conseil du Trésor du Canada | Manitoba | Saskatchewan | Québec |
|-----------------------|---|---|--|---|---|---|
| Portance de la glace | P=7 h2 (kg, cm) Distinction entre la glace de rivière et la glace de lac Réduire la mesure de la glace opaque de 50 % | P=4 h2 (kg, cm) Aucune distinction entre la glace bleue, la glace grise, la glace opaque ou la glace d'eau douce | P=4 h2 (kg, cm) (à utiliser avec une extrême prudence) P=2 h2 (à utiliser avec prudence) La portance de la glace est réduite en fonction du type de glace | Construction P=4 h2 (kg, cm) Ouverture P=5 h2 Aucune distinction entre la glace bleue, la glace inondée (opaque) ou la glace (opaque) en bouillie La glace grise ou opaque est exclue des mesures de l'épaisseur de glace 1992 : P=7 h2 où la glace opaque ne compte que pour la moitié | P=6 h2 (kg, cm) Réduire la mesure de la glace opaque de 50 % Pratique visant à réduire la résistance en présence de types de fissure spécifiques | P=3.5 h2 (kg, cm) Réduire la mesure de la glace opaque de 50 % |
| Qualité de la glace | Réduire la mesure de la glace opaque de 50 % Les zones inondées nécessitent un contrôle quotidien des fissures | La pratique de profilage de la glace stipule la description des fissures Pratique visant à contrôler les fissures (Figure 6) | Recommande de mesurer l'épaisseur réelle de la glace Pratique relative aux types de glace et à la formation de la glace Directives sur les conséquences des fissures | Recommande de mesurer l'épaisseur de couches individuelles Pratique visant à observer les fissures et les crêtes de pression | Certaines données sur la formation de la glace; discussion sur la glace bleue et la glace opaque Pratique visant à identifier les fissures | Recommande de découper des cubes de glace pour en vérifier la qualité; description détaillée des types de glace; directives sur l'identification des fissures |
| Courants des rivières | Commentaires sur les chenaux | | Référence spécifique aux effets des courants et des sources | Référence spécifique aux tests sur des rivières et des cours d'eau | | Référence spécifique à l'hydrodynamique et à l'érosion thermique |

Comparaison des guides canadiens portant sur les travaux ou les déplacements sur les glaces flottantes

| Catégorie | Alberta (avant 2009) | Territoires du Nord-Ouest | Conseil du Trésor du Canada | Manitoba | Saskatchewan | Québec |
|---|--|---|---|--|--|---|
| Profilage de la glace | Les régions inondées nécessitent un contrôle quotidien | La Figure 3 contient les espacements pour les rivières, les lacs et les différentes étapes de l'utilisation Pratique relative au test initial de la glace Pratique relative au profilage à l'aide d'un GPR Pratique relative à la tenue d'archives | Directives sur le perçage des trous et les variations éventuelles | Directives sur le perçage des trous (espacés de 30 m sur les rivières et de 200 m sur les lacs) et les variations éventuelles; fournit un formulaire spécifique pour consigner l'épaisseur de la glace; commentaires sur un profileur électronique | Pratique relative à la prise de mesures manuelles de la glace; recommandations spécifiques sur la glace de lac et de rivière; Pratique relative à la tenue d'archives (exemple de rapport) Pratique relative au profilage à l'aide d'un GPR et à l'interprétation | Directives sur le perçage de trous tous les 15 à 50 m |
| Gestion des amas de neige | Aucun | Garder les amas à une faible hauteur et les étendre afin de réduire la surcharge | Les amas de neige doivent être gardés bien en retrait et avoir une épaisseur inférieure à 1 m ou aux 2/3 de l'épaisseur de la glace; les pentes doivent être inférieures à 1 v:5h | Ne pas créer de larges amas ou y laisser de gros andains de neige; détails sur un modèle de déblaiement; avertissement quant à la formation de bouillie de glace sous les amas de neige | Ne pas créer de larges amas ou y laisser de gros andains de neige; détails sur un modèle de déblaiement; avertissement quant à la formation de bouillie de glace sous les amas de neige | Les amas de neige doivent être gardés bien en retrait |
| Limites de vitesse des véhicules et dynamique de la glace | Recommande des limites de vitesse pour les véhicules (30 km/h dans le cas d'une épaisseur inférieure à 15 m; 15 km/h près des rives) | Pratique recommandée pour les limites de vitesse concernant les véhicules | Pratique recommandée pour les limites de vitesse et les approches des portages | Vitesse maximale de 15 km/h pour les M.T.C. > 7000 kg | Pratique recommandée pour les limites de vitesse et les approches des portages; limites de vitesse lorsque des véhicules se suivent | Le Tableau 4 porte sur les limites de vitesse et les risques de rupture |

Comparaison des guides canadiens portant sur les travaux ou les déplacements sur les glaces flottantes

| Catégorie | Alberta (avant 2009) | Territoires du Nord-Ouest | Conseil du Trésor du Canada | Manitoba | Saskatchewan | Québec |
|--|---|---|---|---|---|--|
| Espacement entre les véhicules | 100 fois l'épaisseur de glace applicable | Recommande aux conducteurs de ne pas se suivre de trop près | Recommande un intervalle de 30 m | | Les véhicules ne doivent pas se suivre de trop près | Tableau détaillé sur l'espacement des véhicules selon l'épaisseur de glace |
| Changements soudains de la température | Directives sur les coups de froid sur la glace | Chute de température de 20°C sur 24 h, qui cause des contraintes thermiques | Directives sur les coups de froid | | Directives sur les coups de froid | Directives sur les coups de froid |
| Construction | | | Recommande des techniques de construction; pratique pour l'épandage d'eau et le déblaiement | Recommandations spécifiques sur la formation de glace par épandage d'eau; recommandations spécifiques sur l'utilisation sécuritaire des véhicules; directive précise sur les andains de neige | Pratique détaillée relative à la largeur des passages, à l'épandage d'eau et au déblaiement Recommande certains véhicules pour la construction | |
| Entretien | Recommande l'épandage d'eau durant toute la saison et l'alternance des tracés | | Pratique relative à la gestion de la neige (à la fois les bienfaits et les méfaits) | Pratique relative au traitement des crêtes de pression | Pratique relative à la réparation des fissures Pratique relative au traitement des crêtes de pression | |
| Limitations | | Éviter le stationnement des charges | Mise en garde au sujet des charges stationnées et en garde au sujet des charges de neige | Les arrêts et le stationnement ne sont pas recommandés | Directives sur les véhicules hors normes et les charges excessives Le stationnement n'est pas recommandé | |

Comparaison des guides canadiens portant sur les travaux ou les déplacements sur les glaces flottantes

| Catégorie | Alberta (avant 2009) | Territoires du Nord-Ouest | Conseil du Trésor du Canada | Manitoba | Saskatchewan | Québec |
|---------------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|
| Plan de sécurité lié à la glace | Aucune mention | Un superviseur du GTNO effectue une évaluation des risques de danger. Le chapitre 4.0, Sécurité des travailleurs fournit des directives détaillées sur les véhicules, les procédures, les EPI, la glace et les conditions météorologiques | Dans les précautions à prendre lors de l'exploitation, figurent des normes de sécurité, y compris l'équipement, le matériel de sécurité | Les conducteurs de véhicules à cabines fermées doivent disposer d'autres moyens pour évacuer; des stabilisateurs ou des réservoirs d'air sont recommandés pour donner plus de temps aux opérateurs pour sortir de leur véhicule advenant une rupture de glace; des sections entières portent sur les politiques régissant le travail sur la glace | Pratique relative à l'équipement (portes de sortie; stabilisateurs) Pratique relative à l'EPI; conseils sur la signalisation et les barrages Directives sur la signalisation sur les routes d'hiver privées. Pratique relative aux normes de formation Pratique relative aux communications Pratique relative au travail isolé Pratique relative aux inspections Pratique relative aux interventions en cas de déversement Listes de contrôle | Directives sur l'exploitation des traverses de glace destinées à la circulation, telles que la signalisation, un programme d'intervention d'urgence |
| Divers | | Sections sur les maladies liées au temps froid | Section sur les opérations en motoneige sur les couvertures de glace | Des guides préparés à la fois pour les entrepreneurs et pour les inspecteurs. Discussion des risques liés à l'usage public | Pratique relative à la gestion de l'environnement (déversements) | Formation des couvertures de glace; influence de l'hydrodynamique |

ANNEXE B

GUIDE DE MESURES DE L'ÉPAISSEUR DE LA GLACE



MESURES DE LA GLACE À L'AIDE DE TARIÈRES

Des recommandations générales sont fournies dans le présent chapitre sur l'emplacement et l'espacement des trous de tarière servant à la prise de mesures de l'épaisseur de glace pour les activités préalables à la construction, la construction et l'exploitation des routes de glace.

Le présent guide ne traite pas spécialement des questions de sécurité concernant le déploiement de personnel et d'équipement pour mesurer l'épaisseur de la glace. Il faudra consulter le guide intitulé *Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta* pour des orientations spécifiques sur la sécurité lors de la prise de mesures de l'épaisseur de glace.

Les tarières à glace, manuelles ou motorisées, permettent de percer rapidement des trous dans la glace pour inspecter visuellement l'état de celle-ci et pour en mesurer l'épaisseur de même que la profondeur de l'eau et le franc-bord à ces endroits. Ces mesures doivent être consignées avec leur position GPS, ou reliées à un certain point de référence local (comme une structure fixe). L'épaisseur de la glace doit être mesurée à l'aide d'un ruban à mesurer ou d'une tige calibrée qui peuvent être accrochés à la face inférieure de la couverture de glace et tirés de manière serrée (rigide) jusqu'à la surface de la glace où ils peuvent être lus au centimètre ou au demi-pouce près. Trois mesures doivent être prises autour de la circonférence du trou, et la mesure minimale doit être consignée.

Toutes les mesures de la glace doivent être examinées par le superviseur avant de prendre la décision de modifier les opérations sur la route de glace (augmentation des masses, évaluation du mauvais état de la glace).

TABLEAU B-1 : Espacement recommandé des trous d'essai à la tarière pour vérifier l'épaisseur de la glace (selon le Gouvernement de l'Alberta, 2009)

| Type d'étendue d'eau | Activités précédant la construction | Construction | Opérations |
|--|---|--|---|
| Rivières – courants rapides ou forts | 5 m entre les trous d'essai le long de l'axe central pour un minimum de 5 mesures | 25 m entre les trous d'essai de chaque côté de l'axe central, en alternance | 50 m entre les trous d'essai de chaque côté de l'axe central, en alternance |
| Rivières – courants lents et à moins de 250 m des rives | 10 m entre les trous d'essai le long de l'axe central | 50 m entre les trous d'essai le long de l'axe central et vérification des zones connues où la glace est mince | 100 m entre les trous d'essai de chaque côté de l'axe central. Vérification des zones connues où la glace est mince |
| Rivières – courants lents et à plus de 250 m des rives | 20 m entre les trous d'essai le long de l'axe central | 100 m entre les trous d'essai le long de l'axe central | 200 m entre les trous d'essai de chaque côté de l'axe central, en alternance. Vérification des zones connues où la glace est mince. |
| Rivières – à moins de 250 m des rives | 10 m entre les trous d'essai le long de l'axe central | 50 m entre les trous d'essai de chaque côté de l'axe central, en alternance. Vérification des zones connues où la glace est mince. | 100 m entre les trous d'essai de chaque côté de l'axe central, en alternance. Vérification des zones connues où la glace est mince. |
| Lacs – à plus de 250 m des rives | 20 m entre les trous d'essai le long de l'axe central | 100 m entre les trous d'essai le long de l'axe central. | 200 m entre les trous d'essai le long de l'axe central. |
| Des mesures additionnelles peuvent être requises pour localiser les zones où la glace est mince. | | | |

TABLEAU B-2 : Intervalles minimaux recommandés pour vérifier l'épaisseur de la glace (selon le gouvernement de l'Alberta, 2009)

| Activités précédant la construction | Construction | Opérations |
|--|--|---|
| Vérifier tous les 2 à 3 jours la formation de glace jusqu'à ce que l'épaisseur minimale de glace soit atteinte en vue de supporter le prochain niveau d'équipement | Vérifier tous les 4 à 7 jours ou plus afin de contrôler les exigences spécifiques relatives à l'épaisseur de glace pour le matériel de chantier et les travaux de construction | Tester la totalité de la route avant d'approuver les limites supérieures de charges; contrôler les zones où la glace est mince, tel que recommandé par le superviseur |
| Des mesures plus fréquentes peuvent être prises pour contrôler les changements dans l'épaisseur et l'état de la glace en raison d'impacts sur l'environnement (réchauffement, courants) ou de changements dans les charges (charges plus lourdes ou plus fréquentes) | | |

MESURES DE LA GLACE À L'AIDE D'UN GÉORADAR (GPR)

Les mesures de la glace à l'aide d'un géoradar (GPR), parfois appelées profilage de la glace, constituent une méthode efficace de mesure continue de l'épaisseur de la glace sur de longues distances ou de vastes zones. Le profilage à l'aide d'un GPR, lorsqu'il est effectué par un bon opérateur, permet de mesurer rapidement l'épaisseur de glace et d'identifier les zones où la couche est mince. Lorsqu'il est effectué à l'aide d'un système GPS, il permet également de produire un fichier numérique de l'épaisseur de glace, qui est géoréférencé. Ces fichiers de données peuvent être traités et représentés par des graphiques en vue d'examiner l'épaisseur de glace et d'identifier les zones où la couche est mince; ils peuvent être révisés à des fins de qualité, puis ils peuvent être stockés comme dossiers de mesures. Leur principal inconvénient tient à leur coût initial et à la formation continue du personnel afin que celui-ci puisse faire fonctionner l'équipement et analyser les données afin d'obtenir des résultats fiables.

Considérations relatives à l'équipement

Plusieurs types de systèmes radar commerciaux sont utilisés pour le profilage de la glace. Ils consistent normalement en une antenne (d'environ 400 à 500 MHz) pour envoyer et recevoir l'impulsion radar, en une unité de contrôle radar qui déclenche l'impulsion radar et qui enregistre son signal de retour, et en un logiciel pour l'affichage visuel et l'enregistrement des données (sur l'unité de contrôle ou sur un ordinateur distinct). L'utilisateur doit tenir compte de la fenêtre temporelle, de la résolution horizontale et de la fonction GPS du système radar.

Les données de profilage de la glace peuvent être géoréférencées en optant pour un système GPS qui extraira les données GPS avec les données radar.

En temps normal, l'unité du GPR et son antenne sont tirés sur les traverses de glace à bord d'une motoneige ou d'un véhicule léger dont la capacité de charge convient aux conditions de glace existantes.

Méthode de sondage

Le profilage à l'aide d'un GPR s'avère le plus efficace après avoir enlevé la neige de la traverse de glace qui permet au véhicule d'accéder rapidement. Les épaisseurs de neige (supérieures à 50 mm) compliquent l'interprétation du signal radar et nécessiteront des vérifications plus fréquentes de l'étalonnage. Toute présence d'eau sur la surface ou dans la glace disperse le signal radar et empêche le GPR de fournir une mesure valable.

Des lignes de profilage GPR individuelles doivent être posées tout le long de la route de glace dégagée, à une distance de 10 m l'une de l'autre sur l'ensemble de la largeur de la route. L'opérateur doit consigner des notes précises sur les noms de fichier du GPR, les emplacements généraux où sont effectuées les mesures (par ex., le nom du lac ou de la rivière), les conditions météo courantes, les conditions de glace inhabituelles et les mesures d'étalonnage.

L'intervalle de temps entre les mesures de profilage de la glace à l'aide d'un GPR doit être conforme à ceux énoncés au Tableau B-2.

Les mesures de profilage au GPR sont étalonnées en recueillant les données radar pour un endroit spécifique, puis en mesurant l'épaisseur de glace à l'aide d'un trou d'essai foré à la tarière. Tous les systèmes GPR sont dotés de procédures permettant d'intégrer de telles mesures dans le logiciel de traitement afin de préciser l'étalonnage approprié constant utilisé pour convertir la vitesse de propagation de l'onde radar dans l'épaisseur de la glace.

Des étalonnages de glace doivent être effectués :

- au moins une fois par jour ou
- lorsque l'état de la glace diffère des derniers étalonnages (par ex., passer d'une glace vive à une glace recouverte de neige)

Les résultats de profilage de la glace au GPR doivent être examinés par le superviseur avant que des changements d'ordre opérationnel soient apportés, tels que l'augmentation des charges ou la réouverture de tronçons de route ayant fait l'objet de réparations. Dans certaines juridictions, le profilage de la glace peut incomber à des géophysiciens professionnels. Le cas échéant, un géophysicien professionnel doit examiner les résultats afin d'en vérifier l'exactitude et d'interpréter les résultats du profilage.

RÉFÉRENCES

Finlay, P., Proskin, S. and Parry, N. 2008. *An Overview of Ice and Bathymetric Profiling using Ground Penetrating Radar (GPR)*. 2008. Paper for the 19th IAHR International Symposium on Ice. Vancouver, BC.

Meshner, D.E., Proskin, S.A., and Madsen, E. 2008. *Ice Road Assessment, Modeling and Management*. 2008. Présentation lors du Congrès annuel de l'Association des transports du Canada, Toronto, Canada.