

Contenu

- 1 Sommaire
- 3 Introduction
- 4 Politique et directives du BCMoT sur le TPCS
- 4 Objectifs
- 5 Méthodes d'étude
- 9 Résultats
- 23 Conclusions
- 24 Mise en application
- 25 Références
- 26 Remerciements

Réduction de l'agressivité des camions pour transporter pleine charge sur les chaussées sujettes à des restrictions saisonnières en Colombie-Britannique

Résumé

Le présent rapport documente les résultats d'un essai réalisé en Colombie-Britannique en 2003 pour examiner la possibilité de prolonger la saison de camionnage durant les périodes de restrictions de charge, en utilisant des camions moins agressifs. L'Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC) a modélisé les routes d'essai dans un programme d'analyse des couches élastiques linéaires et formulé des prévisions quant à la date à laquelle les camions pourraient reprendre le transport sans accélération des dommages. De plus, FERIC a mesuré les changements dans les détériorations de la chaussée et a évalué les économies opérationnelles possibles. Ce rapport documente également les résultats de quatre opérations de transport effectuées en 2004 dans le cadre du programme de camionnage printanier du B.C. Ministry of Transportation, pour camions équipés d'un système de contrôle des pressions de pneus (TPCS).

Mots clés

Camions grumiers, Pression des pneus, Système de contrôle des pressions de pneus (TPCS), Routes forestières, Chaussées, Colombie-Britannique.

Auteur

Allan H. Bradley,
Division de l'Ouest

Traduit de l'anglais par
Thérèse Sicard, ing.f.

Sommaire

Au printemps 2003, avec la collaboration de Tolko Industries Ltd. (Quest Wood Division), de Timber Service Ltd., du B.C. Ministry of Transportation et du B.C. Ministry of Forests and Range, FERIC a mené un essai terrain près de Quesnel, C.-B. afin d'examiner la possibilité pour des camions de configurations moins dommageables à la route, de reprendre le transport plus tôt que les camions conventionnels, à mesure que les chaussées minces affaiblies par le dégel récupèrent leur résistance. L'objectif de cette recherche était potentiellement d'allonger la saison de camionnage au printemps sans aggraver les dommages à la route, réduisant ainsi les besoins de stockage et augmentant à la fois la qualité du bois et la productivité du camionnage. FERIC a développé un procédé de modélisation informatique pour estimer quand les camions d'essai pourraient reprendre le transport sur les chaussées sujettes à des restrictions, sans causer plus de dommages que ne le feraient des véhicules traditionnels circulant sur ces chaussées une fois les restrictions levées. Les camions d'essai ont commencé à circuler un mois avant la levée des restrictions de charge et ont complété 360 voyages durant cette période sans qu'on ne mesure aucune augmentation d'orniérage ou de fissuration.

Au printemps 2004, le B.C. Ministry of Transportation a annoncé une politique visant à exempter des restrictions saisonnières de charge les camions équipés d'un système de contrôle des pressions de pneus (TPCS), sur des trajets approuvés. Quatre essais opérationnels ont été effectués dans le cadre de la nouvelle politique, près de Quesnel, Midway et Cranbrook. Trois de ces essais ont suivi les recommandations de la modélisation faite par FERIC et ont gagné de deux à six semaines de camionnage supplémentaire durant la période des restrictions de charge sans accélération des dommages à la chaussée; dans le quatrième cas, le camionnage a repris avant la récupération de résistance prescrite par FERIC, entraînant certains dommages à la chaussée. Les principes directeurs du programme ont été élaborés à l'été 2004, incorporant les résultats des essais opérationnels ainsi que de la modélisation par FERIC de cinq chaussées types en Colombie-Britannique. Ces principes spécifient que les camions doivent électroniquement contrôler et rapporter les pressions de pneus, les vitesses, leur itinéraire et les charges par groupe d'essieux quand ils circulent sur des routes sujettes à des restrictions de charge; seules des routes rencontrant des critères minimum de résistance sont approuvées pour utilisation dans le programme; et toute situation de non-conformité de la part des participants fera l'objet d'un processus bien défini d'avertissements, suivi de l'expulsion du programme.

Les compagnies forestières fonctionnant selon ce programme prévoient des économies provenant de diverses sources, notamment une réduction générale des stocks, des facteurs plus élevés de rendement du sciage, de la manutention des billes, ainsi que la flexibilité de déplacer de l'hiver au printemps ou de prolonger les opérations de récolte et de camionnage. Un programme de camionnage printanier devrait comprendre des mesures pour réduire au minimum les risques associés à une baisse des niveaux de stocks. En participant au programme, on peut s'attendre aux coûts suivants : équipement du poste de pesage (1500 \$), main-d'œuvre au poste de pesage, coûts de gestion des données, coûts de gestion du programme et (possiblement) gravelage et entretien supplémentaires de la route forestière. Dans son opération de Quesnel, Tolko estime pouvoir épargner 0,80 \$ par mètre cube si ses entrepreneurs faisaient six semaines additionnelles de transport dans la période des restrictions printanières de charge.

Des prolongations de la saison de camionnage de deux à huit semaines ont été atteintes lors des essais opérationnels de 2004, les camions étant souvent capables de continuer à travailler immédiatement après la levée des restrictions. Les propriétaires de camions peuvent tirer profit d'une plus longue saison de transport par l'augmentation des revenus et/ou la réduction du parc de véhicules. L'augmentation des revenus d'un camion permet de récupérer relativement rapidement l'investissement dans le TPCS et l'équipement de surveillance du voyage, en plus d'attirer et de retenir de bons conducteurs. Au cours des essais, les conducteurs et les propriétaires des camions ont noté, relativement aux pneus et à l'opération, de nombreux avantages apportés par le TPCS et l'équipement de surveillance.

Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC)

Division de l'Est et Siège social
580 boul. St-Jean
Pointe-Claire, QC, H9R 3J9

☎ (514) 694-1140
☎ (514) 694-4351
✉ admin@mtl.feric.ca

Division de l'Ouest
2601 East Mall
Vancouver, BC, V6T 1Z4

☎ (604) 228-1555
☎ (604) 228-0999
✉ admin@vcr.feric.ca

Mise en garde

Avantage est publié uniquement à titre d'information pour les membres et les partenaires de FERIC. Il ne doit pas être interprété comme une approbation par FERIC d'un produit ou d'un service à l'exclusion d'autres qui peuvent être adéquats.

This publication is also available in English.

© Copyright FERIC 2005. Imprimé au Canada sur du papier recyclé.



Introduction

Les restrictions saisonnières de charge sont utilisées par les agences de réglementation routière pour limiter les dommages causés par les véhicules aux routes de catégorie inférieure, durant la période de dégel du printemps. Les niveaux de charges admises peuvent varier entre 100 % (aucune surcharge permise) et 50 % ou moins des charges légalement autorisées (en été) mais, en Colombie-Britannique, les charges sont normalement réduites à 70 %. Ces restrictions nécessitent des réductions tellement significatives de la charge utile des camions qu'habituellement l'augmentation des coûts prévient les activités de camionnage. Les restrictions de poids peuvent être maintenues pendant 8 à 12 semaines, ou davantage, pendant que les agences de réglementation attendent que la résistance de la route revienne à un niveau acceptable. Durant cette période prolongée où l'accès de façon économique à la fibre est restreint, les usines rencontrent habituellement leurs besoins en fibre en ayant recours aux réserves de stocks. L'accumulation et l'entreposage de stocks suffisants ainsi que la dégradation du bois mis en réserve ajoutent aux coûts du bois et peuvent diminuer la qualité des produits.

L'utilisation par les camions de pressions de pneus réduites est, semble-t-il, susceptible de diminuer les dommages aux chaussées de catégorie inférieure affaiblies par le dégel, et pourrait offrir un moyen de réduire au minimum l'impact économique des restrictions de charge sur les industries basées sur le camionnage. La modélisation par ordinateur de chaussées minces et faibles permet de prévoir que la réduction des pressions de gonflement des pneus amoindrira les contraintes de tension dans la chaussée ainsi que les contraintes de compression dans la fondation et, à un degré beaucoup plus faible, dans la sous fondation (Grau, 1993; Mahoney et al., 1994; Kestler et Berg, 1996; Raad et al., 1998; Douglas et al., 2000; Owende et al., 2001).

FERIC a élaboré une méthode basée sur les travaux de Mahoney et al. (1994), visant

à prévoir, pour des chaussées spécifiques, à quel moment des camions moins dommageables pour les routes pourraient opérer durant la période saisonnière de restrictions sans accélérer les dommages à la route. Cette méthode est décrite en annexe I. Les camions deviennent moins dommageables pour les routes, c'est-à-dire qu'ils détériorent moins la chaussée, quand les poids par essieu sont réduits; que les vitesses de déplacement sont augmentées sur une chaussée lisse ou diminuées sur une chaussée rugueuse; ou que la surface de contact des pneus est accrue, soit par des pneus de plus grandes dimensions ou par des pressions de gonflement réduites.

Des réductions considérables des dommages aux routes ont été rapportées lors d'essais en conditions réelles avec des pressions de pneus réduites, sur une variété de structures routières pavées et non pavées (Anonyme, 1987; Grau, 1993; Douglas, 1995; Bradley, 2003). Grau (1993) a mesuré des réductions des contraintes dans la fondation à des pressions de pneus plus basses et à des vitesses plus élevées – des sections de route à chaussée bitumineuse sont devenues inutilisables 1,5 à 21 fois moins vite aux pressions de pneus réduites, la structure de la route influençant à la fois le mode de détérioration (ornières, fissures ou nids de poule) et le nombre de passages avant qu'elle ne devienne inutilisable.

Blair (2001b) décrit un essai près de Kelowna, C.-B. sur une route qui avait reçu un traitement de surface de 25 mm d'épaisseur et était vulnérable aux dommages, spécialement au printemps.¹ FERIC a eu recours à la modélisation par ordinateur pour estimer la résistance de la route à laquelle les camions d'essai pourraient recommencer à circuler sans accélérer les dommages par

¹ La mise en place d'un traitement de surface consiste à appliquer une mince couche compactée de granulats et de bitume sur la surface d'une route. L'objectif de cette technique est de prolonger la durée de chaussées fissurées existantes ou de créer une surface exempte de poussière sur des routes gravelées en service, à un coût équivalent à 25 % de celui d'un asphaltage ou resurfaçage standard.

orniérage. Les configurations de camions d'essai comportaient des groupes d'essieux tridem et tandem, et utilisaient des combinaisons de charges par essieu et/ou de pressions de pneus légèrement réduites. Ces camions ont réussi à effectuer 24 journées supplémentaires de transport durant la période des restrictions printanières sans accélérer l'usure de la chaussée. Malgré ce succès, les résultats de l'essai étaient d'application limitée parce que la plupart des chaussées de catégorie inférieure en Colombie-Britannique ne sont pas revêtues d'un enduit superficiel et parce qu'un resurfage déjà programmé de la route trois mois après l'essai a empêché d'observer à plus long terme la performance de l'enduit superficiel.

Blair (2001a) décrit un essai au printemps dans lequel la déflexion de la surface a été mesurée pour diverses pressions de pneus et charges par essieu. Des réductions de cette déflexion se produisaient quand il y avait réduction des pressions de pneus ou de la charge par essieu. Ces résultats ont été utilisés pour valider la modélisation de la chaussée de la route d'essai dans ELSYM5.

Le présent rapport décrit deux essais. Le premier, au printemps 2003, a examiné l'utilisation de camions moins agressifs pour permettre le transport des pleines charges autorisées sur des chaussées sujettes aux restrictions de charge en Colombie-Britannique. FERIC et Tolko Industries Ltd., Quest Wood Division² ont effectué l'essai terrain près de Quesnel en collaboration avec le B.C. Ministry of Transportation (BCMoT), le Commercial Vehicle Safety and Enforcement (CVSE) Department du Ministry of Public Safety and Solicitor General,³ et un entrepreneur en camionnage de Tolko, Timber Service Ltd. Lors du second essai, au printemps 2004, le camionnage des billes a été réalisé dans le cadre du nouveau programme TPCS du BCMoT, à Quesnel par Tolko Industries Ltd., Quesnel Wood Division; près de Cranbrook par Tembec Industries Inc., B.C. Division et Slocan Group,⁴ Radium Division; et près de Midway et de Grand Forks par Pope and Talbot Ltd., Boundary Division.

Politique et directives du BCMoT sur le TPCS

En février 2004, le BCMoT a annoncé une nouvelle politique permettant aux camions équipés de TPCS de transporter les pleines charges autorisées à l'essieu sur des chaussées sujettes à des restrictions de charge. Le BCMoT et le CVSE ont formulé des directives provisoires pour la mise en application de cette politique afin que des essais opérationnels puissent être effectués au cours du printemps 2004.

À l'été 2004, un comité formé de personnel en ingénierie et de gestionnaires de district du BCMoT, de gestionnaires du CVSE, ainsi que de FERIC a élaboré une série de directives pour la politique TPCS du BCMoT. L'objectif de ce comité était de produire des directives basées sur des principes et des résultats scientifiques solides, en vue de protéger les chaussées d'une usure excessive, de promouvoir la sécurité du public et de fournir un avantage compétitif aux industries de la Colombie-Britannique, tout en assurant la facilité de gestion et de vérification de la conformité d'application.

Objectifs

L'objectif de l'essai 2003 était d'examiner la possibilité de prolonger la saison de camionnage durant la période traditionnelle des restrictions printanières de charge, en utilisant des camions grumiers moins dommageables pour les routes. Les tâches suivantes ont été identifiées pour réaliser cet objectif :

- Utiliser un modèle informatique (ELSYM5) pour prévoir l'impact du gonflement des pneus, des charges par essieu et de groupes d'essieux multiples sur la date de reprise du camionnage durant la période des restrictions de charge.

² Maintenant Cariboo Woodlands, Quesnel Division.

³ Le CVSE Department a été déménagé au BCMoT en juin 2005.

⁴ Maintenant Canadian Forest Products Ltd.

Note:

ELSYM5 est un programme informatique développé pour le U.S. Department of Transportation et le Federal Highways Administration. Il utilise la théorie des couches élastiques linéaires pour calculer les efforts, contraintes et déformations dans la structure d'une route, en fonction d'une charge de roue imposée.

- Valider le processus de modélisation en suivant les prévisions du modèle et en observant les changements immédiats et à plus long terme dans l'état de la surface de la chaussée.
- Évaluer des chaussées plus épaisses que celles étudiées dans l'essai de Kelowna (Blair, 2001b), qui soient plus représentatives des chaussées sujettes aux restrictions de charge en Colombie-Britannique.
- Évaluer la possibilité d'utiliser la température dans la route et celle de l'air ambiant pour prévoir la résistance de la route durant la période de dégel printanier.
- Surveiller des opérations pour noter la viabilité du transport de billes par des camions moins dommageables dans des conditions de route en dégel.
- Estimer les coûts et les économies découlant de cette pratique.

Les objectifs des essais opérationnels de 2004 selon les nouvelles directives TPCS étaient de fournir des résultats pour une variété de routes, types de camions et conditions régionales, et de mettre à l'épreuve les directives provisoires pour voir à quel point elles étaient fonctionnelles et s'il était possible à l'industrie de les appliquer efficacement.

Méthodes d'étude

Essai terrain 2003

Routes d'essai

La route d'essai, à l'ouest de Quesnel, présentait des structures de chaussée typiques de la Colombie-Britannique, peu de circulation autre que des camions forestiers et une opportunité de camionnage des billes durant le printemps. Une permission a été obtenue d'utiliser pour l'essai des routes gérées par le BCMoT : une section de 4,3 km de longueur revêtue de gravier (1700 Road), un tronçon pavé de 7,7 km de longueur sur un chemin latéral (Tibbles Road), et 37 km d'un chemin secondaire à deux voies (Nazko Road). Tibbles Road et Nazko Road sont

toutes deux traditionnellement sujettes à des restrictions saisonnières équivalant à 70 % des charges autorisées à l'essieu.⁵ Une permission a également été obtenue du B.C. Ministry of Forests and Range d'utiliser les routes forestières affectées (2000 Road et 2001 Road, revêtues de gravier, reliant le bloc de coupe à 1700 Road).

Le BCMoT a fourni à FERIC les dossiers géotechniques et les plans disponibles, détaillant les types de sol de la fondation, l'épaisseur des couches de chaussée, l'historique des profondeurs de gel et l'historique des mesures à la poutre Benkelman. Des détails relatifs aux sols et aux chaussées pour chaque section d'essai sont fournis à l'annexe II. FERIC a déterminé l'épaisseur des couches de la route pour Tibbles Road par carottage dans le profil du chemin, par excavations en bordure de route, ainsi que par consultation avec le personnel local chargé de l'entretien.

Configurations des camions d'essai

Tolko a acheté trois TPCS TIREBOSS™ et les a fait installer sur des camions grumiers de type tridem moteur avec remorque tridem, appartenant à Timber Service Ltd. (figure 1). Timber Service avait également un camion grumier de type tan-



Figure 1. Camion grumier de type tridem moteur avec remorque tridem à poutre télescopique, équipé d'un TPCS, franchissant la section d'essai 9 sur Tibbles Road. La flèche indique les dommages de surface avant l'essai.

⁵ Depuis 2000, cependant, les restrictions saisonnières de charge pour Nazko Road sont de 100 % (c.-à-d. aucune surcharge permise) pour favoriser le transport de gravier par un seul transporteur. Le BCMoT a demandé que les camionneurs locaux de billes ne circulent pas sur Nazko Road à 100 % durant cette période.

demoteur avec remorque à trois essieux et essieu auxiliaire, utilisant un TPCS plus ancien; on disposait donc pour l'essai d'un groupe de quatre camions équipés de TPCS. Les charges à l'essieu pour les camions ont été fixées à 100 % des charges à l'essieu autorisées en été, puis ajustées à la baisse tel qu'indiqué par le calendrier de reprise du camionnage.

FERIC et TPC International Ltd., le fabricant du TPCS, ont développé aux fins de l'essai des normes de pressions de gonflement basées sur des tableaux charge-vitesse-gonflement publiés par la Tire & Rim Association (Anonyme, 2002, 2003) (tableau 1).

Calendrier de reprise du camionnage

Ce processus estime la résistance de la route à laquelle des camions de configuration peu agressive pourraient commencer à circuler sur une chaussée affaiblie par le dégel sans excéder les contraintes critiques de la chaussée et les taux de dommages que des camions agressifs, transportant la charge autorisée, généreraient à la fin de la période de restrictions. Deux configurations de camions peu agressifs ont été évaluées dans cet essai : un camion à 7 essieux de type tridem moteur avec remorque tridem à poutre télescopique, équipé d'un TPCS, et un camion à 7 essieux de type tandem moteur

avec remorque à trois essieux et essieu auxiliaire, équipé d'un TPCS. Les configurations d'essai ont été évaluées pour diverses charges par essieu et pressions de pneus. Une configuration tandem moteur avec remorque à trois essieux et essieu auxiliaire, le véhicule de référence pour la modélisation dans cet essai, a été évaluée avec les pleines charges autorisées plus la tolérance de poids de 1500 kg applicable aux camions grumiers en Colombie-Britannique, et avec des pneus 11R24.5 gonflés à des pressions normales sur route publique.

Un modèle de Nazko Road à la section d'essai du BCMoT a été construit dans ELSYM5. Les résistances des couches structurales de la route d'essai ont été estimées en comparant les déflexions de surface prédites par le modèle, avec la valeur (1,1 mm) du rebondissement critique⁶ associé historiquement à la levée des restrictions de charge pour la route, ainsi qu'avec de plus grandes déflexions de surface représentatives des réactions de la route durant la période des restrictions de charge (1,2 mm, 1,3 mm,

⁶ Le terme *rebondissement critique* (*restriction rebound*) utilisé par le BCMoT indique la valeur acceptable pour la levée des restrictions de charge, obtenue en prenant la moyenne de 10 mesures de déflexion à la poutre Benkelman plus deux fois l'écart-type. ELSYM5 prévoit un seul rebondissement maximal de la surface, qui doit alors être augmenté de deux écarts-types pour obtenir une valeur permettant la levée des restrictions de charge.

Tableau 1. Réglages pour le camionnage d'essai

Configuration du camion	Essieu directeur	Essieux moteurs	Essieux auxiliaire et essieu simple de remorque	Essieux tandem et tridem de remorque	Masse totale en charge (MTC) [vitesse maximale]
Tridem moteur et remorque tridem à poutre télescopique	6 500 kg pneus 12R22.5 @ 104 psi	8 000 kg pneus 11R24.5 @ 60 psi	s.o.	8 000 kg pneus 11R24.5 @ 60 psi	54 500 kg [80 km/h]
Tridem moteur et remorque tridem à poutre télescopique	6 500 kg pneus 12R22.5 @ 104 psi	8 000 kg pneus 11R24.5 @ 54 psi	s.o.	8 000 kg pneus 11R24.5 @ 54 psi	54 500 kg [65 km/h]
Tandem moteur avec remorque à trois essieux et essieu auxiliaire	6 000 kg pneus 12R22.5 @ 90 psi	8 350 kg pneus 11R24.5 @ 60 psi	9 000 kg pneus 11R24.5 @ 67 psi	8 000 kg pneus 11R24.5 @ 67 psi	56 700 kg [80 km/h]
Tandem moteur avec remorque à trois essieux et essieu auxiliaire	6 000 kg pneus 12R22.5 @ 90 psi	8 350 kg pneus 11R24.5 @ 54 psi	9 000 kg pneus 11R24.5 @ 61 psi	8 000 kg pneus 11R24.5 @ 61 psi	56 700 kg [65 km/h]

etc.) (annexe II). Même si elles ne sont pas basées sur des mesures réelles, on pense que les résistances modélisées de ces couches devraient soutenir des comparaisons relatives de l'impact des camions sur la route d'essai affaiblie par le dégel.

Compte tenu des résistances de chaussée estimées, ainsi que des charges et des superficies de l'empreinte des pneus pour chaque configuration de camion, ELSYM5 a été utilisé pour estimer les contraintes critiques de la chaussée à l'essai. Des formules de dégradation structurale provenant de l'Asphalt Institute ont été utilisées pour estimer le nombre de passages d'un essieu avant que la chaussée ne devienne inutilisable par orniérage ou par fatigue (Mahoney et al., 1994). Le nombre de passages de camion avant que la chaussée ne devienne inutilisable par orniérage ou par fissuration de fatigue a été estimé en totalisant les taux de dommages des essieux pour chaque mode de détérioration. Il a été assumé que le mode de détérioration qui demandait le moins grand nombre de passages de camion avant que la route ne devienne inutilisable était déterminant. Le nombre déterminant de passages de camion avant que la route ne devienne inutilisable pour le camion de référence a été considéré comme étant l'estimation de la durée acceptable minimum pour la chaussée. La condition de route la plus faible (et la valeur correspondante de rebondissement par essai Benkelman) pour le camionnage avec chaque configuration camion-charge-pneu a été déterminée en comparant l'estimation de la durée de la chaussée, à l'estimation de la durée acceptable minimum. En connaissant les conditions de route les plus faibles et le rebondissement à la poutre Benkelman auquel chaque configuration devait commencer le camionnage, FERIC a pu créer un calendrier de reprise du camionnage pour chacune des configurations de camions d'essai sur la route concernée. Une description générale du processus d'analyse de FERIC apparaît à l'annexe I.

FERIC a fait des observations avec la poutre Benkelman sur la section témoin du

BCMoT et sur Tibbles Road (voir section d'essai 8, annexe II). Les mesures à la poutre du BCMoT programmées régulièrement sur le site d'essai de Nazko Road ont été combinées aux observations de FERIC pour augmenter le volume de données. Les mesures à la poutre Benkelman ont été prises sur les deux sites d'essai à l'automne 2002; avant, pendant et après la circulation du printemps sur la route d'essai en 2003; et enfin à l'automne 2003.

Mesures de la profondeur du gel et de la température ambiante

Le BCMoT a fourni des lectures de la profondeur du gel durant l'essai provenant d'un gélomètre situé dans Nazko Road près de la section d'essai 1. FERIC a mesuré manuellement les températures ambiantes aux sections d'essai sur Nazko Road et Tibbles Road, et les a comparées aux lectures provenant de cinq stations météorologiques locales.⁷ Une régression des données a identifié celle des stations météorologiques qui fournissait un enregistrement de données le plus représentatif de chacune des deux stations d'essai. Par la suite, les enregistrements de cette station météorologique ont été utilisés pour estimer les températures journalières du site d'essai et comparer la température de l'essai 2003 avec un historique de 30 ans provenant d'Environnement Canada.⁸

Relevés des déformations de surface

En consultation avec le personnel local du BCMoT, FERIC a sélectionné pour fins d'observation neuf sections de chaussée qui étaient traditionnellement préoccupantes. La déformation de surface dans chacune des sections de 20 m de longueur a été soigneusement cartographiée et photographiée selon les procédures standard d'évaluation du BCMoT (Geoplan

⁷ Gracieusement fourni par le Cariboo Fire Centre du B.C. Ministry of Forests and Range, Quesnel.

⁸ Disponible sur le site Web suivant : www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca

Consultants 2002). Une attention particulière a été accordée aux caractéristiques de déformation de surface qui résultaient de circulation lourde durant le dégel du printemps quand les chaussées sont affaiblies. Des relevés des déformations ont été effectués avant, pendant et après l'essai. Les extrémités de toutes les fissures longitudinales dues aux traces de roues dans les sections d'essai ont été marquées de peinture de façon à pouvoir facilement évaluer le développement de ces fissures au cours de l'essai. Tout développement d'une fissure devait être rapporté immédiatement au personnel local du BCMoT et, s'il était jugé excessif, l'essai serait immédiatement interrompu pour protéger la chaussée de dommages additionnels.

Observation des poids par essieu, des pressions de pneus et des vitesses

Au début du camionnage, chaque camion a recalibré sa balance embarquée conformément au mesurage initial des poids par essieu. Les balances embarquées permettaient aux conducteurs d'estimer de près les poids par groupe d'essieux durant le chargement.

Chaque camion chargé était pesé sur la plate-forme de la balance de l'usine pour déterminer le poids par essieu. Pour ce faire, on pesait progressivement le camion à mesure qu'il avançait sur la plate-forme ou en sortait, et on dérivait ensuite les poids par essieu à partir des différences entre les poids consécutifs. Les poids par essieu étaient surveillés pour assurer qu'ils étaient conformes aux poids cibles établis. Afin de valider l'utilisation de la balance plate-forme pour le pesage par essieu, le poids par essieu de chaque camion était aussi déterminé chaque semaine à la balance locale du BCMoT.

Comme aucun des camions ne possédait d'enregistreur de données à bord, FERIC a observé la variation dans les pressions de pneus en vérifiant manuellement les pressions des pneus de camions d'essai chargés choisis au hasard. Les chercheurs de FERIC ont évalué les vitesses des camions chargés et non chargés en circulant à bord des camions

d'essai et en enregistrant la lecture du compteur de vitesse à chaque minute pendant plusieurs voyages. Les vitesses de déplacement étaient aussi surveillées en observant la durée des cycles des camions telles qu'enregistrées par les heures de pesée à la balance de l'usine.

Température des pneus

Les températures de pneus des camions d'essai chargés ont été vérifiées par une journée chaude durant l'essai pour déterminer l'accumulation de chaleur produite en fonctionnant aux pressions de gonflement d'essai. Les températures à la surface des pneus ont été mesurées à l'aide d'un « fusil » infrarouge, à plusieurs points d'échauffement anticipés (p. ex. sur l'épaule du pneu, le talon, et la zone de fléchissement de la paroi)⁹ des pneus des roues motrices et de la remorque. Les températures internes des pneus ont été estimées à partir de ces températures de surface¹⁰, puis comparées aux limites maximales de chaleur (Ashmore, 1993). Durant l'essai, il a été noté que le chargement des pneus pourrait être sous-estimé pour les pressions de pneu choisies parce qu'une charge excédentaire est appliquée du côté conducteur sur les pneus d'un camion qui circule sur une chaussée bombée. Ce transfert de charge d'un côté à l'autre a été quantifié pour plusieurs camions grumiers en mesurant le poids de leurs roues sur une voie à pente transversale de 2 % de Tibbles Road, et à nouveau sur la plate-forme de niveau de la balance de Tolko.

Politique et directives du BCMoT sur le TPCS

De juin à août 2004, un comité formé de représentants du BCMoT, du CVSE et

⁹ La zone de fléchissement est la partie la plus mince de la carcasse du pneu et est normalement située environ à mi-hauteur de la paroi.

¹⁰ L'ajout de 14 °C aux températures de surface donne approximativement les températures internes maximales des pneus. François Beauchamp, Michelin Amérique du Nord (Canada) Inc., Regina, Sask., communication personnelle, 2003.

de FERIC a élaboré un ensemble de directives provinciales pour la nouvelle politique. FERIC a fourni au comité les résultats de ses travaux expérimentaux. Utilisant un processus similaire à celui employé lors des essais de 2003 et 2004, FERIC a modélisé la sensibilité aux configurations de camion et aux pressions de pneus (telles que recommandées pour des vitesses de déplacement de 80 km/h et de 50 km/h) de cinq chaussées minces typiques en Colombie-Britannique.

Essais opérationnels 2004

FERIC a prédéterminé la résistance de la route pour la reprise du camionnage et évalué les dommages à la chaussée pour les cas impliqués, a aidé les compagnies forestières à demander un permis pour participer au programme, et a travaillé avec le CVSE au développement de méthodes pour surveiller la conformité au programme, incluant l'évaluation de la balance de chaque usine participante, quant à sa précision pour le pesage par essieu des camions grumiers.

Résultats

Essai terrain 2003

Routes d'essai et configurations de camion

Le tableau 2 illustre l'efficacité relative de la diminution du poids par essieu, de la configuration du camion et de la réduction du gonflement des pneus pour améliorer la durée de chaussées minces affaiblies par le dégel.

L'analyse a été effectuée sur la structure de la chaussée de Nazko Road dans des conditions d'affaiblissement par le dégel, représentatives de la fin de sa période de restriction. Pour toutes les configurations évaluées, il était prévu que la structure de la route d'essai deviendrait inutilisable par fissuration de fatigue plus rapidement que par orniérage. À noter que cette modélisation supposait que le dégel avait progressé sous les couches granulaires supérieures de la route et que les matériaux de fondation et de sous-fondation étaient mouillés mais non saturés ni gelés.

L'influence de la configuration du camion a eu un effet remarquable sur la durée de la chaussée. Il était prévu que la configuration tridem-tridem, opérant avec pleine charge autorisée à l'essieu et pressions de pneu normales pour route publique, augmenterait la durée de la chaussée de 133 %, comparativement au camion de référence. Quand le gonflement des pneus du tridem-tridem a été réduit aux niveaux appropriés pour circuler à la vitesse affichée de 80 km/h sur Nazko Road, on prévoyait que l'utilisation de cette configuration augmenterait la durée de la chaussée de 250 % comparativement au camion de référence. Une réduction à 90 % de la charge utile du tridem-tridem et l'optimisation des pressions de pneus pour le chargement réduit et pour circuler à 80 km/h n'ont prolongé que marginalement la durée de la chaussée par rapport au cas précédent; cependant, l'impact sur la détérioration par orniérage était assez important.

Tableau 2. Effet de mesures préventives sur l'expectative de détérioration finale de la chaussée de Nazko Road, dans des conditions typiques de printemps

Configuration	Passages de camion avant le début de détérioration	
	par fissuration de fatigue	par orniérage
Tandem moteur avec remorque à trois essieux et essieu auxiliaire à 100 psi (camion de référence)	70 000	10 031 000
Tridem moteur avec remorque tridem à 100 psi	163 000 (+133 %)	9 072 000
Tridem moteur avec remorque tridem - pressions de pneus réduites pour 80 km/h max	245 000 (+250 %)	9 819 000
Tridem moteur avec remorque tridem - pressions de pneus réduites pour charge utile de 90 % et 80 km/h max	252 000 (+260 %)	12 526 000
Tridem moteur avec remorque tridem - 70 % de MTC à 100 psi (condition des restrictions de charge)	180 000 (+157 %)	26 796 000

L'imposition de restrictions de charge pour les chaussées dont la résistance est compromise est une méthode courante utilisée par les administrations routières pour forcer les camions à devenir moins agressifs. La réduction du poids par essieu reflète souvent la réduction temporaire dans la capacité structurale d'une route.¹¹ Pour la chaussée en question, l'optimisation des pressions de pneus pour circuler à la limite de vitesse affichée de 80 km/h prolonge la durée de la chaussée (déterminée par la détérioration par fissuration de fatigue) beaucoup plus que ne le fait la restriction de la masse totale en charge du camion (MTC) à 70 % des limites autorisées (c.-à-d. une durée plus longue de 250 % versus 157 %).

Calendrier de reprise du camionnage

Le calendrier de reprise du camionnage était soumis à une contrainte : le désir que les quatre camions d'essai reprennent le transport en même temps. Plusieurs options ont été trouvées permettant aux camions tridem-tridem de commencer à un rebondissement critique de 1,35 mm, incluant un ralentissement à 80 km/h et la réduction des pressions de pneus en conséquence (figure 2).

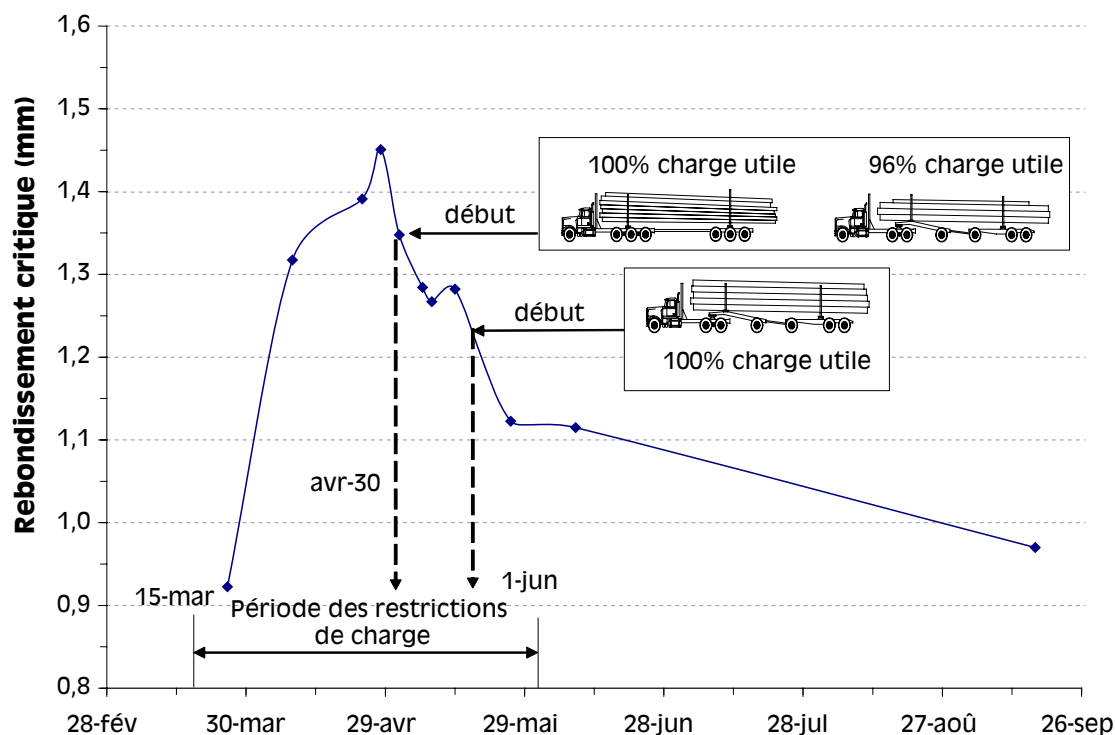
Les camions tandem moteur avec remorque à trois essieux et essieu auxiliaire, chargés à 100 % des poids autorisés à l'essieu et utilisant des pressions de pneus normales sur route publique, ne pouvaient reprendre le camionnage avant que la résistance de la route n'ait récupéré à un rebondissement critique de 1,23 mm. Pour commencer à circuler le 30 avril en même temps que les camions tridem-tridem alors que le rebondissement était de 1,35 mm, le camion tandem a été rendu moins agressif par la réduction à la fois de ses pressions de pneus et de ses charges par essieu. La charge utile nette a été par la suite réduite de 4 %.

Profondeur de dégel et résistance de la route

La figure 3 illustre la relation entre la profondeur de dégel, la résistance de la

¹¹ Certaines administrations routières fixent les niveaux des restrictions de charge bien en dessous de la capacité structurale d'une route afin de décourager toute circulation commerciale des camions durant les conditions affaiblies du printemps. La réduction des poids par essieu à 70 % des limites autorisées peut entraîner une réduction dans la charge utile allant jusqu'à 50 %, dépendant de la configuration, faisant ainsi doubler les coûts de transport.

Figure 2. Calendrier de reprise du camionnage pour les configurations des camions d'essai.



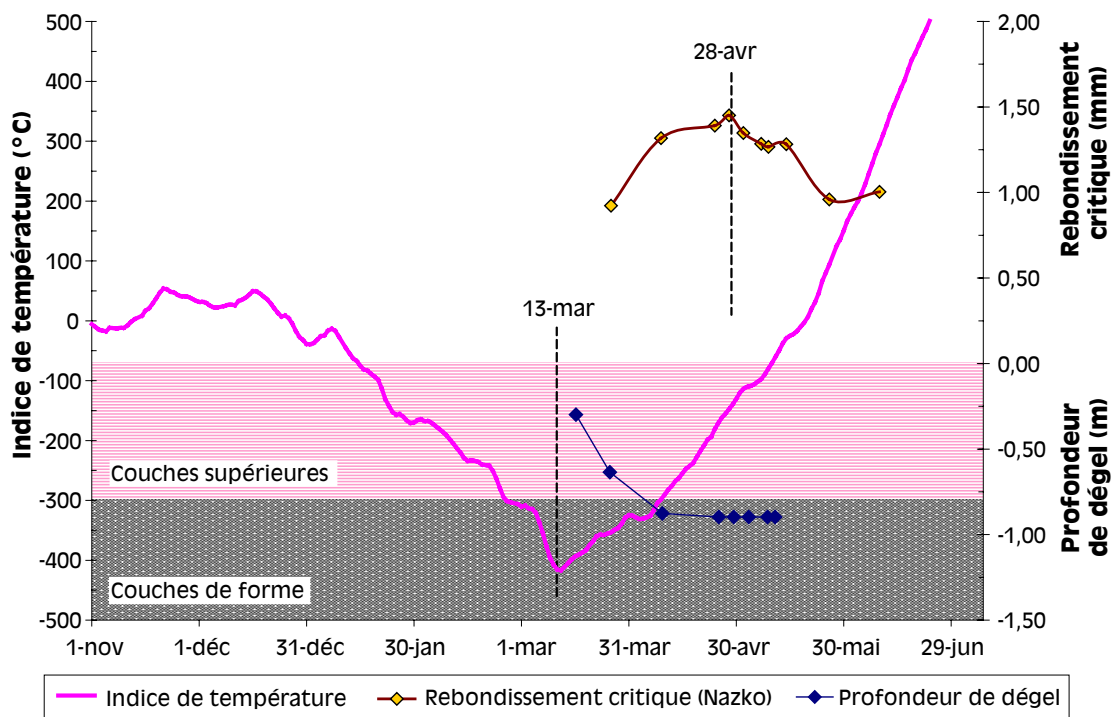


Figure 3. Profondeur de dégel, résistance de la chaussée et indice de température pour Nazko Road.

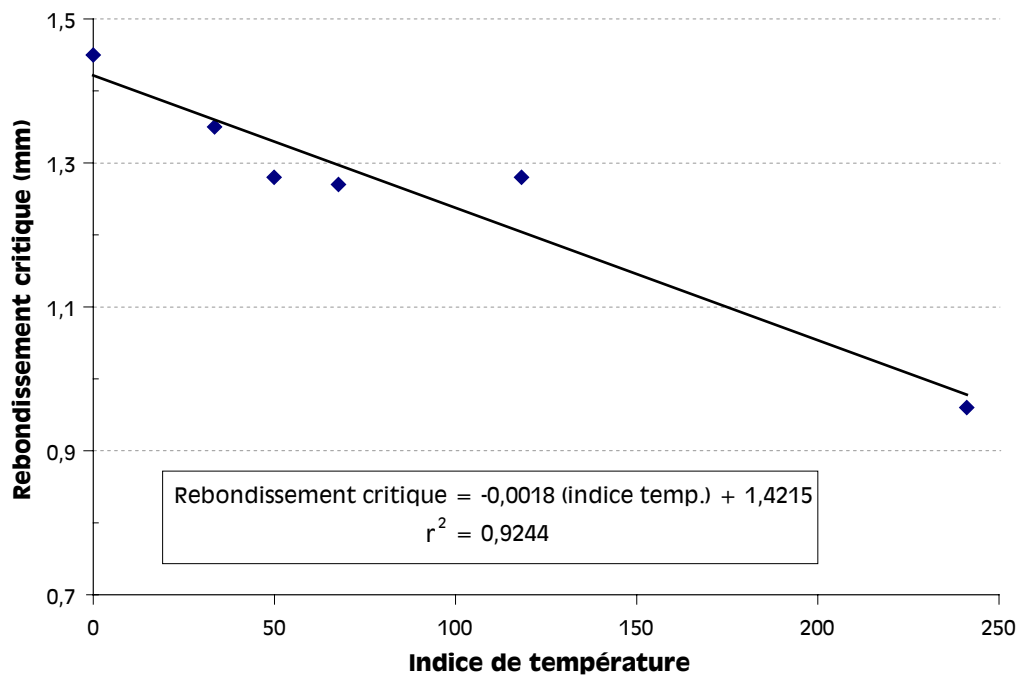
chaussée (exprimée en valeurs de rebondissement critique) et l'indice de température sur le site d'essai de Nazko Road. L'indice de température est défini comme le total cumulatif des températures ambiantes à l'heure du midi, le point de départ étant arbitrairement fixé à zéro le 1er novembre 2002. Le 13 mars, l'indice de température qui avait une tendance à la baisse est passé à une tendance à la hausse et, peu après, des tendances à la hausse ont été observées dans la profondeur de dégel et le rebondissement critique. Après que la profondeur de dégel eût atteint environ 0,9 m (c.-à-d. environ 0,2 m sous la couche de granulats), la couche de granulats a pu se drainer et récupérer sa résistance, comme le montre la diminution du rebondissement de la surface à partir du 28 avril.

La route a pris environ 6,5 semaines à dégeler et à commencer à reprendre sa résistance, et 2,5 semaines de plus avant que sa résistance n'ait récupéré sa pleine capacité (c.-à-d. historiquement, un rebondissement critique de 1,1 m). Cette période de récupération variera d'année en année principalement à cause des différences annuelles de température. Des prévisions

fiables de la profondeur de dégel et de la résistance de la route pourraient être possibles en tenant compte de relations empiriques dérivées d'observations historiques (Blair, 2001b). Une forte corrélation (coefficient de corrélation $r^2 = 0,92$) a été constatée entre l'indice de température et le rebondissement critique durant la période de récupération de la résistance (figure 4).

L'utilisation de relations prédictives permettrait à l'industrie de planifier le début du camionnage en utilisant les prévisions météorologiques plutôt qu'en se fiant à des vérifications fréquemment répétées de la résistance de la route. Il est recommandé que ces relations soient raffinées pendant plusieurs années. Par la suite, la compagnie pourrait se fier à la profondeur de dégel pour indiquer quand la route a commencé à récupérer sa résistance. Puis, après un seul essai à la poutre Benkelman, la compagnie pourrait prévoir à quel moment reprendre le camionnage en se basant sur les prévisions météorologiques. Avant de reprendre le camionnage, toutefois, la résistance de la route qui a été prévue devrait être confirmée par un autre essai à la poutre Benkelman.

Figure 4.
Corrélation entre
la résistance de la
route en
récupération et
l'indice de
température sur
Nazko Road en
mai 2003.



Relevés des déformations de surface

Les relevés des déformations de surface ont indiqué peu ou pas de changement sur chacune des neuf sections d'essai durant, immédiatement après, ou quatre mois après l'essai (tableau 3). Quelques changements mineurs dans les déformations de surface (tant augmentations que diminutions) ont été notés. On croit cependant que presque tous ces changements résultent des limites de précision dans la procédure de mesurage de l'orniérage et du fait que le personnel de FERIC est devenu plus habile, et donc plus précis, à relever la longueur des fissures vers la fin de l'essai.

La section d'essai du BCMoT se trouvait sur la partie la plus faible de Nazko Road. Cette section d'essai était aussi plus faible que Tibbles Road, comme l'indiquent les mesures de résistance recueillies par FERIC. C'est un résultat très positif qu'il n'y ait pas de preuve de déformation accrue sur les sections d'essai du BCMoT (#1, #2, #3).

Dommages aux routes gravelées

Les autorités de réglementation gouvernementales pour les routes forestières non pavées utilisées dans l'essai ont exprimé leur inquiétude que la circulation sur ces

routes dans des conditions de printemps puisse mener à des niveaux excessifs de dommages par orniérage et de sédimentation des cours d'eau.¹² Par conséquent, Tolko a accepté d'entretenir la surface de ces routes de façon que la profondeur moyenne des ornières ne dépasse pas 7,5 cm (3 po). Un nivelage d'entretien très limité a été requis durant l'essai parce que les conducteurs réparaient intentionnellement les ornières en variant leurs traces de roue pour abaisser les côtés élevés des ornières. Bien que ce ne soit pas quantifié dans cet essai, d'autres études techniques ont rapporté des taux d'orniérage de 50 à 60 % plus lents par suite de l'utilisation de pressions de pneus réduites sur des routes non pavées (Douglas, 1995; Blair et Bradley, 2004).

Des « ventres de bœuf » sont apparus le long du chemin à mesure que le dégel progressait à des niveaux de plus en plus

¹² Une sédimentation accrue des cours d'eau peut se produire quand les ornières canalisent l'eau de ruissellement le long de la surface des routes forestières. Un ruissellement relativement profond, se déplaçant rapidement dans les ornières, érode les matériaux de surface de la route et peut les transporter jusqu'aux cours d'eau voisins.

Tableau 3. Sommaire des changements dans les déformations de surface sur les voies sous charge des sections d'essai

Section d'essai	Localisation (km)	Augmentation de la fissuration par fatigue (%)	Augmentation de l'orniérage (%)	Commentaires
#1. Nazko Road dans la section témoin du BCMoT	2,80	0	0	
#2. Nazko Road dans la section témoin du BCMoT	2,82	1,3	0	Précision du relevé changée: aucun agrandissement des fissures pré-marquées.
#3. Nazko Road dans la section témoin du BCMoT	2,84	0,7	0	Précision du relevé changée: aucun agrandissement des fissures pré-marquées.
#4. Nazko Road près du Quesnel Rod & Gun Club	12,30	0	0	
#5. Nazko Road en haut de 21-Mile Hill	20,90	0	0	
#6. Nazko Road en bas de 21-Mile Hill	21,30	0	0	
#7. Tibbles Road à l'intersection de Clarke Road	3,20	0	0	Deux fissures ont augmenté en longueur de moins de 3 cm.
#8. Tibbles Road à l'intersection de Welda Road	4,20	2	0	Un relevé après l'essai a trouvé 8 nouvelles fissures mineures mais aucun agrandissement des fissures pré-marquées. Ces fissures n'ont pu être trouvées dans le relevé du 3 oct.
#9. Tibbles Road adjacent au Cariboo Bible College	6,60	0	0	

Note: Les distances le long de Nazko Road débutaient au km 0 à l'intersection de Blackwater Road. Les distances le long de Tibbles Road débutaient au km 0 à l'intersection de Nazko Road.

élevés.¹³ Les camions équipés d'un TPCS réussissaient habituellement à empêcher les ventres de bœuf de s'étendre ou de développer des ornières profondes, en utilisant des pressions de pneus réduites et en variant leurs traces de roue.¹⁴ Un nivelage d'entretien très limité a été requis. Historiquement 2000 Road présentait quelques points faibles, cependant, où Tolko a choisi de faire une excavation pour les remplir de gravier, comme investissement dans l'utilisation future de la route. Au cours de l'essai, Tolko a appliqué 20 chargements de gravier aux endroits mous le long du chemin.

On ignore si le fait de circuler en période de dégel avec des camions équipés de TPCS sur des routes non pavées les affaiblira à long terme en favorisant le mélange des particules fines de la couche de forme et des granulats de surface. Webb et Kelly (2000) ont conclu que des routes gravelées en dégel présentent

un plus grand risque de mélange des matériaux quand l'eau provenant de la route en dégel et de la glace dans les fossés saturé temporairement le lit de la route. Cependant, on peut prévenir ce mélange en limitant la profondeur des ornières durant le camionnage, et en réduisant les contraintes imposées à la route par l'utilisation de camions équipés de TPCS et ayant des configurations

¹³ Un « ventre de bœuf » est une faiblesse localisée qu'on retrouve dans une route non pavée, où l'eau de drainage sous la surface est attirée et forme une zone mouilleuse sur la surface de roulement durant les conditions de dégel. Le ventre de bœuf disparaît une fois la route dégelée. La solution consiste normalement à excaver les matériaux inadéquats de la couche de forme et à les remplacer par des matériaux granulaires compactés qui se drainent librement.

¹⁴ Des camions grumiers équipés de TPCS circulant sur des routes de gravier en dégel à Cranbrook au printemps 2003 ont connu une expérience similaire. Duke Armleder, Directeur de la technologie, Tembec Industries Inc., communication personnelle, juin 2003.

moins agressives. De plus, une fois que le dégel du printemps commence pour de bon, les fossés devraient être dégagés de la glace et de la neige accumulées afin d'accélérer le drainage de l'eau captive dans la couche supérieure de la route (Webb et Kelly, 2000).

Avantages et coûts du camionnage durant la période printanière des restrictions de charge

On s'attend à ce que le maintien d'un approvisionnement de fibre fraîche aux usines génère des bénéfices économiques de plusieurs façons :

- diminution des frais financiers de stockage
- amélioration de la qualité des produits
- réduction des pertes dues au stockage et au recouvrement du bois
- besoins de stockage du bois réduits et moins coûteux
- opportunités de prolonger ou de transférer les opérations forestières de l'hiver au printemps

Le camionnage d'essai a débuté le 30 avril quand le rebondissement critique sur Nazko Road approchait 1,3 mm, et s'est poursuivi jusqu'en juin. Les restrictions de charge ont été levées sur Nazko Road et Tibbles Road le 2 juin. Les camions d'essai ont effectué 260

voyages durant la période de restrictions et livré 14 135 tonnes de billes. Seul un voyage aller-retour de 4 camions a été raté à cause d'une forte neige dans le bloc. L'entrepreneur en camionnage a gagné cinq semaines supplémentaires de transport durant la période de restrictions. De plus, il croit qu'il y a eu un gain additionnel de quatre semaines après la levée des restrictions de charge parce que le TPCS rendait ses camions plus mobiles, et par conséquent moins dommageables, sur les chemins d'accès forestier et les routes des blocs, humides et vulnérables.

Tolko estime que si le camionnage pouvait être repris six semaines avant la fin de la période des restrictions de charge et poursuivi tout au long de l'année, alors d'importantes économies pourraient être réalisées. Le tableau 4 résume les bénéfices anticipés pour ce scénario. L'analyse suppose que tous les entrepreneurs de Tolko en camionnage de billes sont au travail durant cette période (c.-à-d. que tous les camions des entrepreneurs sont équipés d'un GPS, d'un TPCS et de systèmes de surveillance) et qu'un volume additionnel de camionnage est disponible pour leur être alloué. Il est supposé que le taux des droits de coupe ne change pas par rapport aux taux d'hiver; la probabilité peut en être augmentée en sélectionnant pour

Tableau 4. Économies estimées pour la Division Quest Wood de Tolko par suite du transport à 100 % des charges à l'essieu durant les six dernières semaines de la période des restrictions saisonnières de charge

	Économies estimées pour la compagnie (\$)
Frais financiers de stockage	270 000
Moins de manutention et de ceinturage des paquets	97 500
Facteur de rendement du sciage plus élevé à cause d'une réduction des activités de manutention et de recouvrement du bois	32 000
Moins de paquets à recouvrir	68 250
Moins de terrain requis pour le stockage	22 400
Plus d'entretien des routes	(29 250)
Coût du lecteur de cartes et du logiciel pour l'ordinateur du poste de pesage	(1 500)
Coût de gestion des données	(1 440)
Coût additionnel de main-d'œuvre pour les opérateurs de balances	(15 000)
Économies totales	442 960^a

^a Ou 0,84 \$/m³, basé sur le volume annuel transporté par entrepreneurs, soit 525 000 m³.

le camionnage des blocs dont les droits sont perçus dès l'exploitation terminée.¹⁵ De plus, on ne s'attend à aucune augmentation dans la durée des cycles ou les coûts de camionnage.

Pour participer à ce programme, les camions doivent être équipés d'un TPCS et d'équipement capable de surveiller la vitesse du véhicule, les pressions de pneus, le réglage du TPCS ainsi que la localisation sur la route, et de transmettre ces informations.¹⁶ L'augmentation du nombre d'heures annuelles de camionnage commercial par véhicules équipés d'un TPCS est un des moyens les plus sûrs de récupérer le coût d'achat et d'entretien de cet équipement additionnel. Une prolongation de la saison de travail pour une flotte de transport peut permettre au propriétaire de transporter un volume additionnel avec ses véhicules. Des opportunités de transporter un volume additionnel peuvent se produire s'il y a des ventes de bois privées (fréquentes au printemps) ou selon un programme de petites entreprises; si le camionnage à d'autres périodes de l'année est empêché par des fermetures d'usines, des réparations de camions, ou de mauvaises conditions routières; ou si des usines transfèrent leurs opérations au printemps en spécifiant l'utilisation d'un TPCS.

Autrement, une augmentation de la saison de camionnage, et par conséquent de la productivité des camions d'une flotte, peut permettre au propriétaire de diminuer le nombre de ses véhicules et les frais de financement de capital qui y sont associés. La pénurie actuelle de conducteurs professionnels est préoccupante pour les propriétaires de flottes commerciales de camions. Une saison de travail plus longue réduit le nombre de camions requis dans une flotte pour transporter un volume alloué, et devrait rendre plus facile d'attirer et/ou de retenir des conducteurs compétents. La prolongation de la saison de camionnage devrait diminuer en tout temps donné le nombre de camions sur un trajet particulier, créant ainsi des conditions de camionnage plus

sécuritaires; réduire les temps morts dus aux files d'attente lors du déchargement; et produire des conditions de conduite généralement améliorées (p. ex. confort augmenté causant moins de fatigue et de maux de dos, possibilité de franchir des pentes plus abruptes, freinage plus rapide, réduction des crevaisons et des pertes de temps associées, et mobilité accrue sur une route à sol mou avec besoins réduits d'assistance aux véhicules). Avec la possibilité de surveiller les vitesses des camions, le trajet et l'utilisation du TPCS, les propriétaires de camions peuvent également recueillir des données sur la durée des cycles et utiliser l'information pour fins de gestion et de formation des conducteurs.

L'exemple suivant de récupération de l'investissement suppose que le camion équipé d'un TPCS transporte un volume additionnel durant la saison prolongée de camionnage. On estime que le coût d'achat de l'équipement additionnel requis pour participer au programme de transport TPCS du printemps est récupéré après deux ans, compte tenu d'un camion grumier normal à 7 essieux, de 300 heures de camionnage supplémentaires par année, de charges utiles de 39 tonnes, et d'un taux de camionnage de 2,70 \$ par tonne-heure. On suppose aussi que les coûts de fonctionnement autres que pour les salaires et le carburant sont compensés par des économies dues à l'utilisation du TPCS (tableau 5).

Timber Service a noté d'autres avantages provenant de l'utilisation d'un TPCS : un meilleur confort de roulement et moins de

¹⁵ Les droits de coupe doivent pour certains blocs être payés quand la récolte du bois est complétée plutôt que, comme il se fait plus habituellement, sur réception à l'usine. Par conséquent, le fait de retarder jusqu'au printemps le camionnage des blocs récoltés en hiver n'entraînera jamais un taux plus élevé de droits de coupe pour les blocs dont les droits sont payables au terme de l'exploitation.

¹⁶ La collecte des données de charge à l'essieu est aussi une exigence du programme et est actuellement effectuée aux balances des postes de pesage. FERIC, J.D. Irving Limited Forestry, Les balances CLÉRAL et International Road Dynamics Inc. étudient la possibilité de recourir à la surveillance par balances électroniques embarquées.

Tableau 5. Calcul simplifié de la période de récupération des coûts de l'équipement additionnel requis pour participer au programme TPCS du BCMoT

Prix de l'équipement additionnel (incluant un TPCS TIREBOSS à 2 canaux avec version améliorée du dessiccateur d'air, un enregistreur de données Truckbase avec GPS, et taxes provinciales de 7 %)	26 300 \$
Revenu additionnel (300 heures additionnelles de fonctionnement, charges utiles de 39 tonnes, à 2,70 \$ par tonne-heure)	31 600 \$
Coût additionnel de fonctionnement en salaires et carburant (300 heures supplémentaires à 60 \$ par heure)	18 000 \$
Profit additionnel (revenu additionnel – coût additionnel de fonctionnement)	13 600 \$
Période de récupération (prix de l'équipement/profit additionnel par année)	1,9 an

Tableau 6. Sommaire des valeurs de MTC réelles versus cibles

	MTC cible (kg)	Différence entre les valeurs cible et réelle de MTC		
		Moyenne (kg)	Maximum (kg)	Minimum (kg)
7 essieux, essieu auxiliaire et trois essieux	56 700	342 (0,60 %)	1 260	-1 250
7 essieux, tridem/tridem	54 500	-218 (-0,40 %)	1 610	-1 340
7 essieux, tridem/tridem	54 500	-105 (-0,19 %)	1 310	-1 360
7 essieux, tridem/tridem	54 500	15 (0,03 %)	1 410	-1 310

dommages dus aux vibrations pour le camion; une traction et une mobilité améliorées en été et en hiver; moins d'incidents où des véhicules sont enlisés; 5 à 8 jours de moins perdus à cause de conditions de sol mou et humide en été; moins d'usure des pneus; moins de crevaisons et de pneus détruits étant donné la détection des fuites d'air dans les pneus et le maintien de la pression; et donc moins d'appels de service pour problèmes de pneus en cours de route.¹⁷ D'après Anonyme (1995), le confort amélioré attribuable à une réduction des pressions de pneus cause moins de fatigue au conducteur, et l'intensité réduite des chocs sur la transmission entraîne potentiellement une diminution des bris de la transmission. De plus, des économies considérables pour l'ensemble de la flotte peuvent provenir de l'élimination de la vérification manuelle des pressions de pneus.

Charges à l'essieu

Les quatre camions d'essai ont transporté 65 charges chacun durant la période de restrictions. Le tableau 6 résume les différences entre la MTC cible pour chaque camion et sa MTC réelle moyenne. Comme le démontre la grande correspondance entre les

charges cibles et réelles, les conducteurs exerçaient un bon contrôle des poids durant le chargement en utilisant leurs balances électroniques embarquées. Les charges cibles n'incluaient pas la tolérance applicable de 1500 kg; seule une des charges livrées durant l'essai a dépassé cette tolérance.

Au cours de l'essai, une comparaison a été effectuée entre les données de charge par essieu recueillies au pèse-essieu de CVSE à Quesnel, et à la balance du poste de pesage de Quest Wood Division de Tolko. La comparaison avait pour but d'évaluer la précision des données obtenues au poste de pesage de l'usine. Même si cette balance est adéquate pour le pesage de camions stationnés entièrement sur la plate-forme de niveau, on ignorait comment l'inclinaison des rampes d'approche à la balance de l'usine influencerait le pesage par essieu.

Le tableau 7 résume les résultats du pesage par essieu de 14 charges de camion durant l'essai. La différence absolue moyenne entre les charges par groupe d'essieux mesurées par le pèse-essieu de CVSE et la balance du poste

¹⁷ Shane Thorlakson, propriétaire et conducteur, et Mark Rosling, chef-mécanicien, Timber Service Ltd., communication personnelle, juin 2005.

Tableau 7. Sommaire des différences entre les charges par essieu

	Différence absolue moyenne par rapport au pèse-essieu de CVSE
Essieu directeur	174 kg (2,9 %)
Essieux moteurs	229 kg (1,1 %)
Essieu simple de remorque	191 kg (2,2 %)
Essieu de remorque tandem ou tridem	134 kg (0,7 %)
Masse totale en charge (MTC)	616 kg (1,1 %)

de pesage de Tolko était faible et variait de 134 à 229 kg, dépendant de la configuration de l'essieu et du camion. Certaines des différences étaient probablement dues au transfert de la charge d'un essieu à l'autre quand le camion grimpait la rampe d'approche inclinée pour arriver sur la plate-forme. La différence la plus faible a été constatée pour les essieux tandem ou tridem de remorque qui, étant situés le plus vers l'arrière, étaient pesés quand le reste de l'ensemble se trouvait sur la plate-forme de niveau. Dans cette position, il y avait un transfert minimum de charge des autres essieux vers les essieux arrière de la remorque. Des différences dans le calibrage de la balance et/ou la procédure de mesurage sont démontrées par les différences assez considérables entre la somme des charges par essieu mesurées par CVSE et la MTC

(mesurée quand le camion entier se trouvait sur la balance du poste de pesage). La comparaison indique que l'utilisation de cette dernière balance pour peser les essieux des camions d'essai était faisable et raisonnablement précise.

Vitesses de déplacement

Les vitesses de déplacement à vide se rapprochaient des vitesses affichées sur Nazko Road et Tibbles Road (80 et 65 km/h, respectivement), alors que les vitesses en charge sur ces routes étaient de 8 à 13 km/h inférieures parce que les camions ralentissaient dans les montées (figure 5). Les modes de gonflement du TPCS utilisés sur les routes ont été programmés pour que les vitesses maximales correspondent aux vitesses affichées, et les conducteurs ont trouvé que l'alerte de vitesse de leur TPCS était utile pour

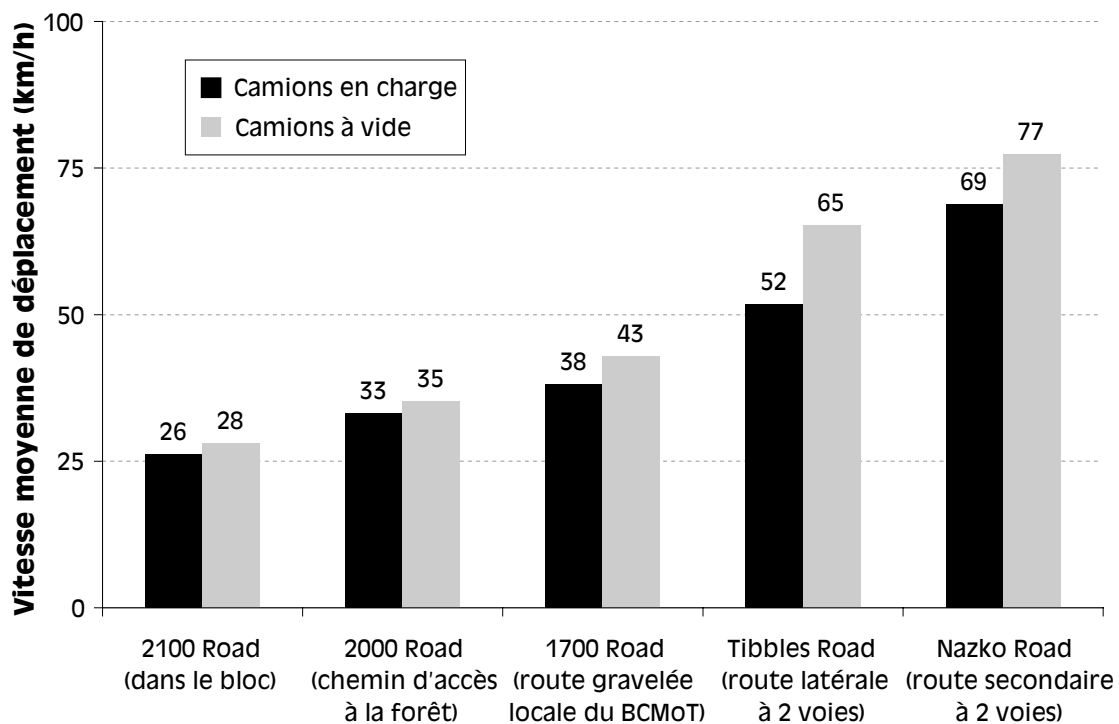


Figure 5. Vitesses moyennes de déplacement des camions d'essai à vide et en charge.

maintenir les vitesses de déplacement aux niveaux prescrits. L'utilisation de vitesses affichées permettait aux camions de causer moins de dommages aux routes sans prolonger la durée des cycles ni créer de files d'attente pour les autres usagers de la route.

Le contrôle minutieux des vitesses de déplacement a été remarqué et apprécié par les résidents locaux. Les vitesses de déplacement étaient réduites aussi selon la qualité de la route, les vitesses les plus lentes étant rapportées lors de la circulation dans le bloc et les plus rapides sur Nazko Road. La vitesse moyenne de déplacement sur 2000 Road a diminué de 36 à 30 km/h pendant le déroulement de l'essai parce que des ventres de boeuf sont apparus à mesure que le dégel progressait vers la surface de la route.

Température des pneus

Même si l'utilisation des pneus à des pressions réduites produit des températures plus élevées de la carcasse, aucun dommage ne devrait en résulter si on suit les recommandations du fabricant concernant les vitesses de fonctionnement, les charges par pneu et les pressions de gonflement (Ashmore, 1993; Davies et al., 1997; Bradley, 2003). FERIC a fait un échantillonnage des températures des pneus du tracteur et de la remorque sur plusieurs camions d'essai par une journée chaude alors que la température ambiante était approximativement de 22 °C. Les températures les plus élevées se trouvaient dans la partie la plus épaisse de la carcasse du pneu (c.-à-d. l'épaulement), suivie par les régions qui subissent beaucoup de flexion durant une utilisation normale (c.-à-d. dans la zone de fléchissement de la paroi et près du talon). Les températures de l'épaulement étaient en moyenne de 8 °C plus élevées pour les pneus gonflés à 60 psi que pour ceux gonflés à 100 psi. Les températures des pneus étaient légèrement supérieures (c.-à-d. de pas plus que 4 °C) pour les pneus des roues motrices que pour les pneus de la remorque. On s'attendait à des températures plus élevées dans les pneus des roues motrices parce que la transmission du couple d'entraînement

cause davantage de flexion des parois.

On a également constaté que la température des pneus varie d'un côté du camion à l'autre. Du côté du passager, les températures de l'épaulement étaient jusqu'à 9 °C plus élevées, en moyenne, que du côté du conducteur. Ce serait dû en grande partie, semble-t-il, au transfert de charge depuis le côté du conducteur vers le côté du passager quand le camion roule sur la route.¹⁸ Les routes pavées sont normalement construites avec un bombement de 2 % pour faciliter le drainage. Pour mieux en comprendre l'effet sur l'échauffement des pneus, les charges sur les roues ont été mesurées pour trois configurations de camions chargés alors qu'ils étaient stationnés sur un terrain présentant une pente latérale (bombement) de 2 %, puis ensuite sur une balance d'usine qui était de niveau. Sur la pente transversale de 2 %, les charges sur les roues du côté du passager étaient de 2 à 3 % plus élevées que du côté du conducteur. Étant donné l'augmentation des températures de pneus notée durant cet essai, il est recommandé de tenir compte de ce transfert de charge quand on spécifie les réglages TPCS des pressions de pneu.

Essais opérationnels 2004

Observation de la résistance de la route

FERIC a modélisé un calendrier de reprise du camionnage pour chacune des routes pavées utilisées dans ces essais terrain. L'épaisseur de la surface de roulement et l'état du revêtement influençaient fortement la résistance acceptable pour la reprise du camionnage. Quand on utilisait un rebondissement critique de 1,1 mm pour représenter la fin de la période des restrictions de charge, les rebondissements de reprise prévus pour la plupart des routes étaient de 1,35-1,5 mm. Il y avait une exception, soit Christian Valley Road, près de Midway, dont

¹⁸ On ne croit pas que l'échauffement des pneus causé par le transfert latéral de la charge soit préoccupant pour des camions grumiers qui circulent sur des routes forestières non pavées parce que les conducteurs chevauchent normalement la ligne centrale du chemin.

la résistance prévue pour la reprise du camionnage était inférieure à sa résistance la plus faible au printemps. Ce résultat surprenant, appuyé par les données des essais à la poutre Benkelman recueillies sur la route, ont incité le BCMoT à ne pas limiter les charges sur cette route en 2004 pour la première fois de son histoire. Le BCMoT impose et lève les restrictions de charge selon la région, et la décision est basée sur des essais à la poutre Benkelman ainsi que sur des observations faites sur quelques routes choisies comme étant des structures représentatives susceptibles de dégeler en premier. La collecte de mesures de résistance sur des trajets de camionnage qui habituellement ne sont pas vérifiés par le BCMoT devrait amener certaines routes de camionnage à ne plus être sujettes aux restrictions.

Contrôle de conformité

En coopération avec le BCMoT et le CVSE, FERIC a déterminé les exigences en matière de données et de production de rapports pour les systèmes de surveillance des véhicules utilisés dans les essais terrain. Truckbase Corp., une entreprise indépendante de gestion de données, vérifiait après chaque voyage le trajet des camions, la vitesse, le réglage du TPCS et les pressions de pneus, ainsi que les charges par essieu pour en déterminer la conformité, et rendait les résultats disponibles sur un site Web sécurisé pour fins d'inspection. Le CVSE n'a eu aucun problème de non-conformité de la part des participants dans ces essais opérationnels.¹⁹ Alors que les données relatives au trajet des camions, à la vitesse, au réglage du TPCS et aux pressions de pneus étaient recueillies par un enregistreur de bord, les charges par essieu étaient mesurées quand les camions atteignaient leur destination de déchargement.

FERIC et le CVSE ont travaillé avec les compagnies forestières en vue d'évaluer la précision et la procédure optimale pour le pesage par essieu des camions grumiers sur chacune des balances des postes de pesage des usines participantes. En mars 2004, FERIC

et le CVSE ont comparé les mesures de charge à l'essieu pour chacune des balances des usines devant être utilisées dans le programme. Le tableau 8 résume les résultats du pesage par essieu de 81 camions, représentant 11 configurations différentes, sur 6 balances d'usine. La différence absolue moyenne entre les charges par essieu obtenues sur les pèse-essieu transportables du CVSE, et celles enregistrées ensuite pendant que les camions montaient sur la plate-forme de la balance ou en descendaient, n'a pas dépassé 457 kg (5,3 %). Le CVSE a jugé que ce niveau de précision était acceptable pour les fins du contrôle de conformité dans ce programme.

Les mesures les plus fiables de la charge par essieu ont été prises alors que les essieux suivants étaient arrêtés juste en dehors de la plate-forme de la balance. Dans cette position du camion, la charge de billes était aussi de niveau que possible et l'effet de la rampe d'approche de la balance se trouvait réduit au minimum. Certains conducteurs éprouvaient des difficultés la nuit à juger quand l'essieu suivant était juste hors de la plate-forme; une amélioration de l'éclairage de la balance serait utile. La création, sur la rampe d'approche, d'une section de niveau assez longue pour convenir à toutes les configurations de camion serait une meilleure solution parce qu'elle éliminerait le besoin d'améliorer l'éclairage ou de vérifier la position des essieux durant le pesage.²⁰ Le pesage par essieu pendant que les camions montaient sur la plate-forme donnait généralement des résultats plus précis. La différence de 0,9 % entre la masse totale en charge et le résultat de la balance transportable du CVSE dans le tableau 8 indique que certaines des différences de poids observées étaient dues à des raisons autres que le transfert de charge causé par l'inclinaison des rampes d'approche.

¹⁹ Doug Elliot, Directeur, Transport commercial, CVSE, communication personnelle, mai 2005.

²⁰ Tembec Industries Inc. et Slocan Forest Products Ltd. ont toutes deux mis de niveau les approches de leurs balances d'usine durant l'été 2004.

Tableau 8. Sommaire des différences de charge par essieu

	Différence absolue moyenne entre la charge par essieu mesurée sur les pèse-essieu transportables du CVSE, et celle mesurée quand le camion monte sur la plate-forme de la balance de l'usine ou en descend	
	En montée sur la plate-forme	En descente de la plate-forme
Essieu directeur	269 kg (4,0 %)	200 kg (3,0 %)
Essieux moteurs	368 kg (1,8 %)	413 kg (2,0 %)
Essieux simples de remorque	298 kg (3,5 %)	457 kg (5,3 %)
Essieux de remorque tandem ou tridem	229 kg (1,3 %)	415 kg (2,4 %)
Masse totale en charge (MTC)	477 kg (0,9 %)	489 kg (0,9 %)

Tableau 9. Résultats du camionnage dans le cadre du programme TPCS en 2004

	Jours de camionnage supplémentaires	Charges additionnelles transportées	Volume additionnel transporté (m ³)	Types de routes ^b	Évaluation des dommages
Tembec	39	695 (1 628) ^a	29 885 (70 000) ^a	HMA CMA (2) revêtement en gravier (5)	aucune augmentation augmentation acceptable aucun entretien
Pope & Talbot	9	171	7 353	HMA revêtement en gravier (2)	aucune augmentation aucun entretien
Slocan	6	13	559	CMA (1)	quelques réparations
Tolko	9	141	6 063	HMA (1) CMA (1) revêtement en gravier (1)	aucune augmentation aucune augmentation un peu d'entretien

^a Les valeurs entre parenthèses correspondent aux charges transportées sur des routes non sujettes aux restrictions, devenues accessibles à cause de l'amélioration de traction et de mobilité fournie par le TPCS.

^b HMA (hot mix asphalt) : enrobé bitumineux à chaud; CMA (cold mix asphalt) : enrobé bitumineux à froid.

Prolongation de la saison de camionnage et impact sur la route

Le tableau 9 résume les résultats du camionnage dans le cadre du programme TPCS du BCMoT au printemps 2004. Dans ces opérations, la saison de camionnage a été prolongée de 6 à 39 jours, la plus longue prolongation incluant un certain transport avant le dégel des routes mais après l'imposition des restrictions régionales de charge. Des pénuries de bois à l'usine ont incité Slocan à transporter de faibles volumes avant que la route n'ait récupéré sa résistance aux niveaux recommandés par FERIC. Le camionnage a été arrêté quand deux petites cuvettes se sont produites dans la chaussée. Elles ont été immédiatement réparées aux frais de Slocan, puis la compagnie a repris le camionnage pendant trois semaines avec des pressions de pneus optimisées, après la levée

des restrictions, afin d'aider à prévenir tout autre dommage. À cause des conditions sèches du sol en 2004, la période des restrictions de charge a été inhabituellement courte dans le sud de la Colombie-Britannique. Par conséquent, la prolongation de la saison de camionnage a été relativement modeste pour Pope and Talbot. Pour Tolko, la prolongation de la saison a été raccourcie d'environ 10 jours parce que ses routes avaient récupéré assez de résistance pour le transport avant que son entrepreneur utilisant des camions équipés d'un TPCS retourne à Quesnel à partir de Grand Forks où les camions travaillaient pour Pope and Talbot dans le cadre du présent essai.

Pour les entreprises forestières, le coût de participation au programme 2004 était approximativement de 1500 \$ pour le logiciel et un lecteur de cartes de mémoire flash dans la guérite du poste de pesage, 1 \$

par charge pour la gestion des données, et des coûts pour le carottage dans le profil des routes, la classification de la couche de forme et le mesurage de la résistance de la route avant le camionnage. Il y avait également des coûts de main-d'œuvre pour le personnel de la balance de l'usine ainsi que pour l'organisation et la surveillance des opérations de camionnage.

Tembec a réalisé l'opération de printemps la plus importante et la plus longue, utilisant 19 camions équipés d'un TPCS pour effectuer le transport sur une chaussée mince d'enrobé bitumineux à chaud (route de Fort Steele-Wardner), deux chaussées minces d'enrobé bitumineux à froid (routes de Perry Creek et Wycliffe), et trois routes gravelées du BCMoT (Beese, Goat River et LD Ranch). Durant une période de 39 jours, 695 charges consistant en 29 885 m³ de billes provenant principalement d'arbres tués par le dendroctone du pin ponderosa ont été transportées sur ces routes sujettes aux restrictions de charge. Tembec a utilisé les camions équipés d'un TPCS pour transporter 40 115 m³ additionnels de billes sur six routes revêtues de gravier et non sujettes aux restrictions, lesquelles normalement n'étaient pas accessibles dans les conditions mouilleuses du printemps. L'apparition de fissures nouvelles et une aggravation de fissures existantes ont été observées sur une chaussée d'enrobé bitumineux à froid; cependant, le BCMoT a jugé les dommages acceptables considérant la détérioration avancée de la surface avant l'essai.

Avantages additionnels du programme²¹

Tembec a noté plusieurs avantages importants dus à la prolongation du camionnage au printemps :

- Ses camions équipés de TPCS ont réussi à transporter approximativement 25 000 m³ de bois provenant de peuplements détruits par le feu, situés à haute altitude, qui devaient être enlevés rapidement pendant qu'il restait une neige épaisse sur le chemin d'accès. Tout le bois non récupéré aurait été sérieusement détérioré avant

que les peuplements ne redeviennent accessibles l'hiver suivant. La plus grande facilité d'accès des camions sur les routes à sol mou a permis aux bûcherons venus par hélicoptère de transférer les opérations de l'hiver au printemps, alors que les épaisseurs plus faibles de neige favorisaient une plus grande productivité.

- Les opérations de téléphérage et d'hélicodébardage demandent un investissement en capital plus élevé par mètre cube que la plupart des autres opérations de récolte de moindre envergure, de sorte qu'une saison de travail plus longue est particulièrement importante pour les garder viables.
- Le nombre réduit de camions dans le parc de l'usine au printemps a entraîné des délais d'approximativement cinq minutes de moins en file d'attente pour le déchargement.
- Un moindre volume de bois doit être attaché en paquets et empilé en hauteur dans le parc de l'usine.
- Du bois provenant de propriétés privées (bois acheté) devient souvent disponible pour transport au printemps et les propriétaires de camions capables d'y accéder par des routes à sol mou ou sujettes aux restrictions de charge peuvent le transporter quand ils ne sont pas occupés au transport du volume de bois qui leur est alloué à l'usine.

Tembec a utilisé avec succès deux stratégies pour prolonger la période de camionnage et augmenter les volumes transportés : la compagnie a obtenu des exemptions des restrictions de charge imposées dans la région en surveillant étroitement les conditions spécifiques au site sur des trajets de transport individuels, et elle a transporté des volumes limités sur plusieurs routes différentes. Tembec attribue également le succès de l'opération à l'auto-discipline des

²¹ Duke Armleder, Directeur de la technologie, Tembec Industries Inc., communication personnelle, mars 2005.

camionneurs participants et à l'étroite coopération du personnel du BCMoT.

Tembec estime que les changements opérationnels facilités par le camionnage du printemps ont permis d'épargner plus de quatre millions de dollars en 2004.

Diminution des risques dus à un stockage réduit à l'usine

Les gestionnaires d'usine sont actuellement sous pression pour réduire le volume des stocks de bois à maintenir durant la période de dégel ainsi que les coûts de stockage. La participation au programme TPCS de camionnage printanier proposé par le BCMoT peut offrir des opportunités de réduire les stocks et de générer de grandes économies. Il serait prudent, toutefois, de mettre en place progressivement les réductions de stock de façon à pouvoir gérer le risque et élaborer des plans alternatifs.

On devrait considérer les risques suivants :

- Droits de coupe plus élevés au printemps pouvant diminuer ou éliminer les économies dues à la réduction des stocks
- Perte d'accès aux blocs à cause des conditions mouilleuses des routes ou de la détérioration des chemins de pénétration
- Expulsion du programme pour cause de non-conformité de la part d'un ou plusieurs entrepreneurs en camionnage avec TPCS
- Annulation du transport sur un trajet à cause de dommages à la route
- Prolongation de la saison de camionnage insuffisante pour justifier économiquement l'investissement dans le TPCS²²

Politique et directives du BCMoT sur le TPCS

Se basant sur les résultats de l'essai terrain et l'analyse de sensibilité de FERIC, et après avoir sollicité l'apport de l'industrie, le BCMoT a défini les grandes lignes d'une politique comprenant les points principaux suivants (Nyland, 2004) :

- Le programme accorde une exemption des restrictions saisonnières de charge sur des trajets approuvés pourvu que les compagnies de camionnage utilisent des pressions de pneus réduites contrôlées par TPCS et respectent les autres clauses du programme.
- Le programme est ouvert à toute entreprise individuelle (p. ex. compagnies forestières, entreprises de camionnage, compagnies minières, industrie du pétrole et du gaz, entreprises de transport de carburant, etc.) qui utilise des camions circulant sur les routes sujettes aux restrictions saisonnières de charge du BCMoT.
- Les candidats au programme doivent soumettre une demande officielle au BCMoT avant le 15 octobre de l'année précédant le camionnage en question. La demande doit indiquer le trajet proposé, les mesures maximales de résistance pour la ou les chaussées concernées, les détails relatifs aux camions et au transport, et aussi comprendre une vidéo documentant l'état présent de la surface de la route.
- Les sections clés des chaussées concernées doivent avoir un rebondissement critique supérieur à 1,5 mm lorsque soumises à l'essai dans des conditions de résistance maximale et ne pas être sujettes à des restrictions saisonnières de charge de moins que 70 % des charges légalement autorisées.
- Le transport ne doit pas débiter avant que la résistance de la route n'ait récupéré à un rebondissement critique de 1,5 mm.
- Les tolérances de poids applicables ne sont pas autorisées lorsque le transport a lieu dans le cadre de ce programme.

²² FERIC a mis au point, avec l'aide de TPC International Ltd., le TPCS Investment Analysis Tool qui permet d'estimer le prix d'achat, de faire un calcul simplifié de la période de récupération du coût et d'établir le taux interne de rendement pour un TPCS TIREBOSS. Cet outil est disponible sur le site Web de FERIC (www.feric.ca) ou en s'adressant à l'auteur.

- Afin de réduire le risque de dommages à la route, des essieux simples avec montage de roues jumelées ne peuvent pas transporter plus de 8000 kg et les remorques « doglogger » (c.-à-d. à court écartement d'essieux connectées derrière une remorque à poutre télescopique) ne sont pas admissibles au programme.
- Tous les camions doivent être équipés d'un TPCS, d'un système de positionnement global et d'un ordinateur embarqué (p. ex. un enregistreur de données) capable de surveiller ces systèmes et de télécharger les données après chaque voyage (p. ex. avec une carte mobile de stockage des données ou par un autre moyen).
- Les données d'un voyage, incluant les charges par essieu mesurées à la balance de l'usine, doivent être disponibles sur Internet, pour fins d'inspections par le BCMoT et le CVSE, peu après que le voyage est complété.²³
- Tous les voyages effectués dans le cadre du programme sont examinés minutieusement pour déterminer leur conformité aux conditions imposées relativement aux trajets, charges par essieu, vitesses des véhicules et pressions de pneus.
- Les pénalités pour non-conformité aux conditions du programme sont progressives. Le CVSE impose présentement les pénalités suivantes : après une infraction sérieuse, le conducteur du camion recevra un avertissement écrit; après deux infractions sérieuses, la compagnie de camionnage sous contrat sera exclue du programme pour la période des restrictions de charge et l'entreprise responsable recevra un avertissement écrit; et, après trois infractions sérieuses, un moratoire de trois ans en rapport à la participation au programme sera appliqué à la firme de camionnage et/ou à toutes les divisions de l'entreprise responsable en Colombie-Britannique.

L'annexe III présente un guide à l'intention des entreprises qui désirent participer au programme de camionnage TPCS du BCMoT.

Conclusions

Des restrictions saisonnières de charge sont utilisées par les agences canadiennes de réglementation routière pour limiter les dommages causés par les véhicules aux routes de catégorie inférieure, durant la période de dégel printanier. Une modélisation faite par FERIC prévoit que le fait de rendre les camions moins agressifs, en réduisant les pressions de pneus, les charges par essieu et/ou en utilisant des groupes d'essieux multiples au lieu d'essieux simples, peut réduire ou éliminer les dommages aux chaussées de catégorie inférieure affaiblies par le dégel, plus efficacement que les restrictions traditionnelles de charge. FERIC a développé un processus de modélisation pour prévoir la résistance minimale de la route à laquelle des camions d'essai de configuration peu agressive pourraient reprendre le camionnage sans excéder un taux de base théorique de dommages à la chaussée.

Durant la période des restrictions de charge du printemps 2003, le transport par des camions peu agressifs a été réalisé avec succès, avec une augmentation négligeable des dommages sur neuf sections d'essai des chaussées concernées près de Quesnel, C.-B. et seulement des dommages mineurs aux routes de gravier qui les reliaient. Les camions d'essai ont effectué 260 voyages durant la période de restrictions et livré 14 315 tonnes de billes.

Des économies significatives sont réalisables si les niveaux de stocks peuvent être réduits au minimum par une saison de

²³ Vers la fin de 2004, la compagnie de gestion des données, Truckbase Corporation, a réduit en termes de minutes l'intervalle de temps entre le téléchargement des données à l'ordinateur de la balance de l'usine et l'affichage sur Internet, rendant ainsi les données immédiatement disponibles pour communiquer aux conducteurs les situations de non-conformité.

transport prolongée. Le scénario décrit dans ce rapport suggère que des économies de 443 000 \$ ou 0,84 \$ par m³ sont possibles avec six semaines additionnelles de camionnage au printemps. Un participant au programme a mentionné des économies de plus de quatre millions de dollars par suite de changements opérationnels en récolte et en camionnage au printemps 2004.

Durant l'essai terrain 2003, l'entrepreneur en camionnage a gagné cinq semaines de transport additionnel plus quatre autres semaines immédiatement après la levée des restrictions de charge. Une augmentation de la saison annuelle de camionnage entraîne pour les entrepreneurs une réduction des coûts de propriété de l'équipement. Pour le scénario décrit dans le rapport, le coût de propriété du camion serait réduit de presque 4 \$ par heure, compte tenu d'une prolongation de six semaines.

Les essais opérationnels réalisés dans le cadre de la nouvelle politique TPCS du BCMoT ont donné les résultats suivants :

- Les exigences relatives aux données et à la production de rapports pour la mise en vigueur du programme ont été définies.
- Il a été déterminé que les balances plates-formes des usines avaient une précision suffisante pour le pesage par essieu des camions dans le cadre du programme.
- Les camions utilisant les résistances de route modélisées par FERIC pour la reprise du camionnage ont gagné deux à huit semaines de camionnage additionnel sans accélération des dommages aux routes.

La participation au programme de camionnage TPCS du BCMoT peut offrir des occasions de réduire les stocks et de générer d'importantes économies. Il serait prudent, toutefois, pour l'industrie de mettre en place progressivement les réductions de stock de façon à pouvoir gérer le risque et élaborer des plans alternatifs. Il faudrait prendre en considération les risques suivants :

- Droits de coupe plus élevés au printemps pouvant diminuer ou éliminer les économies dues à la réduction des stocks
- Perte d'accès aux blocs à cause des conditions de routes mouilleuses ou à sol mou, ou de la détérioration des chemins de pénétration
- Expulsion du programme pour cause de non-conformité de la part d'un ou plusieurs entrepreneurs en camionnage avec TPCS
- Annulation du transport sur un trajet à cause de dommages à la route
- Prolongation de la saison de camionnage insuffisante pour justifier économiquement l'investissement dans le TPCS

Une relation linéaire a été trouvée entre l'indice de température et le rebondissement critique durant la période de récupération de résistance de Nazko Road. L'utilisation de relations empiriques spécifiques à la route pourrait permettre à l'industrie de planifier le début du camionnage en se basant sur les prévisions météorologiques plutôt que de dépendre d'essais fréquemment répétés de la résistance de la route.

Les réductions des pressions de pneus dans l'essai ont été basées sur les vitesses routières affichées. L'observance des vitesses affichées rendait les camions moins agressifs sans prolonger la durée des cycles ni créer des files d'attente pour les autres usagers. Les conducteurs ont trouvé que l'alerte de vitesse de leur TPCS était utile pour le maintien des vitesses de déplacement. En ralentissant et en variant soigneusement leurs traces de roues, les camions ont réussi à traverser continuellement en période de dégel la plupart des « ventres de bœuf » dans les routes de gravier, sans aggraver leur condition.

Mise en application

Les étapes d'accès au programme de camionnage TPCS du BCMoT pour une entreprise forestière de Colombie-Britannique sont décrites dans un guide à l'annexe III. Les entreprises intéressées sont invitées à communiquer avec leur directeur

de district du BCMoT afin de discuter des périodes, des trajets et des pré-requis du programme.

Références

- Anonyme. 1987. Central Tire Inflation. Final Report. Nevada Automotive Test Center for USDA Forest Service under contract 53-9JA9-6-SD647. Carson City, Nev. 130 p.
- Anonyme. 1995. Central Tire Inflation Resource Book. San Dimas Technology and Development Center, USDA Forest Service. San Dimas, Ca.
- Anonyme. 2002. 2002 Yearbook. Tire and Rim Association Inc. Copley, Ohio.
- Anonyme. 2003. Engineering Design Information. Tire and Rim Association Inc. Copley, Ohio.
- Ashmore, C. 1993. Tire Heating Test Program. Nevada Automotive Test Center for USDA Forest Service. Carson City, Nev. Février 1993. 60 p.
- Blair, C. 2001a. Investigation into improved road-friendliness offered by optimised tire pressures on thawing thin pavement roads. FERIC, Vancouver, C.-B. Juin 2001. 14 p.
- Blair, C. 2001b. Prolongation du camionnage en période de dégel par des technologies qui préservent la route. FERIC, Vancouver, C.-B. Rapport Avantage Vol. 2, N° 48. 12 p.
- Blair, C.; Bradley, A. 2004. Demonstration of improved mobility offered by optimized tire pressures for B-train log trucks on Saskatchewan field conditions. FERIC, Vancouver, C.-B. Rapport interne. 16 p.
- Bradley, A. 2003. Optimisation des pressions de pneu des camions pour réduire les dommages aux routes rurales : sommaire de deux essais en Saskatchewan. FERIC, Vancouver, C.-B. Rapport Avantage Vol. 4, N° 10. 12 p.
- Davies, T.; Brown, M.; Carpentier, A.; Paragg, R.; Wall, T. 1997. Central tire inflation (CTI)/constant reduced pressure (CRP) initiative : Appendices to the final report. Saskatchewan Department of Highways and Transportation, Regina, Sask. Non publié. 114 p.
- Douglas, R.A.; Woodside, W.D.; Woodside, A.R. 2000. Road contact stresses and forces under tires with low inflation pressure. Canadian Journal of Civil Engineering 27 :1248-1258.
- Douglas, R.A. 1995. Effects of central tire inflation on unbound, single layer granular pavements – Report I : rut development. Department of Civil Engineering, University of New Brunswick. Fredericton, N.-B. 23 p.
- Geoplan Consultants Inc. 2002. Pavement surface condition rating manual, second edition. Prepared for British Columbia Ministry of Transportation.
- Grau, R.W. 1993. Effects of variable tire pressure on road surfacings – Volume I : design, construction, behaviour under traffic, and test results. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station. Prepared for the USDA Forest Service. Vicksburg, Miss. Technical Report GL-93-20. 152 p.
- Kestler, M.; Berg, R. 1996. Effect of tire pressure on asphalt surfaces : reduction in springtime damage to USDA Forest Service roads. Unpublished CRREL Report for USDA Forest Service. 42 p.
- Mahoney, J.; Sweet, B.; Copstead, R.; Keller, R. 1994. The potential use of central tire inflation during highway load restriction periods. SAE Paper 942245 published by Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa. 8 p.
- Nyland, D. 2004. T-circular T-11.04 CTI program policy : Internal policy. B.C. Ministry of Transportation, Victoria, C.-B. 4 p.

Owende, P.M.O.; Hartman, A.M.; Ward, S.M.; Gilchrist, M.D.; O'Mahony, M.J. 2001. Minimizing distress on flexible pavements using variable tire pressure. *Journal of Transportation Engineering* 127(3).

Raad, L.; Minassian, G.; Saboundjian, S. 1998. Mechanistic evaluation of the effect of tire inflation pressure on pavement damage under spring-thaw weakening. Paper 980831 presented at Transportation Research Board Meeting, janvier 1998, Washington, D.C.

USDOT Federal Highways Administration. 1987. ELSYM5 interactive microcomputer version : User's manual. Center for Microcomputers in Transportation. Gainesville, Fla. Report no. FHWA-TS-87-217. 35 p.

Webb, C.R.; Kelly, L.M. 2000. Surveillance des conditions de dégel des routes au printemps pour maximiser la période de camionnage des billes. FERIC, Vancouver, C.-B. Rapport Avantage Vol. 1, N° 37. 8 p.

Remerciements

L'auteur désire remercier les personnes suivantes pour leur aide généreuse et compétente :

- Eric Bodman (Tolko Industries, Quest Wood Division)
- Shane Thorlakson, Kelly McKelroy, Colin Lawson, Phil Morgenstern, Mike Phillips et Mark Rosling (Timber Services Ltd.)
- Mike Oliver, Dirk Nyland, Terry Harbicht, John Cook, Bill Eisbrenner, Tim Meszaros, Jack Bennetto et Gordon Chudley (B.C. Ministry of Transportation)
- Doug Elliot et Joanne Sutton (Department of Commercial Vehicle Safety and Enforcement, B.C. Ministry of Public Safety and Solicitor General)
- Dick Weichel (Rymar Tech Services)
- Mel Dunleavey (B.C. Ministry of Forests and Range Cariboo Fire Centre)
- Jim Dunkley et Peter Regush (Val-J Holdings)
- Duke Armleder (Tembec, B.C. Division)
- Tim Rutherglen (RP Testing Ltd.)
- Brian Spreen et Les Hinz (Tire Pressure Control International Ltd.)
- Tom Grabowski et Mike Malychuk (Truckbase Corporation)
- John Mallett (B.C. Ministry of Forests and Range)
- Tony Tham, Colin Blair (anciennement de FERIC)
- Rob Jokai, Eric Amlin (FERIC)

La production de ce rapport a été financée en partie par Ressources naturelles Canada grâce à leur contribution dans le cadre de l'entente RNCan-FERIC.

Annexe I

Procédure pour déterminer quand reprendre le camionnage sur une chaussée mince affaiblie par le dégel

Sélectionner pour l'analyse un camion de référence qui soit à la fois représentatif des configurations normales de camion, et une des configurations les plus agressives autorisées dans la région. Déterminer les charges autorisées à l'essieu, ainsi que les surfaces de contact, pressions de gonflement et espacement caractéristiques pour les pneus.

Sélectionner pour l'analyse des camions peu agressifs qui soient à la fois représentatifs des camions d'essai et des configurations autorisées dans la région. Déterminer les charges autorisées à l'essieu, ainsi que les surfaces de contact, pressions de gonflement et espacement caractéristiques pour les pneus.

Mesurer ou estimer la surface de contact et l'espacement des pneus pour un camion d'essais à la poutre Benkelman.

Rassembler l'information disponible sur la route concernée, y compris l'épaisseur des couches, les types de matériaux, les mesures historiques de résistance, les mesures historiques au printemps à la poutre Benkelman, et les modes de détérioration de la route observés.

Construire un modèle de la route concernée à l'aide de ELSYM5. Entrer les surfaces d'empreinte et l'espacement des pneus déterminés lors des essais à la poutre Benkelman, le chargement par pneu, ainsi que les paramètres de résistance et les épaisseurs des couches de la chaussée. Varier les valeurs des modules de résilience de la couche de granulats et de la couche de forme jusqu'à ce que les prévisions de déflexion de la surface atteignent une déflexion de la surface correspondant aux niveaux historiques mesurés sur la route d'essai à la fin de la période des restrictions de charge.

Entrer les charges et les surfaces d'empreinte des pneus du camion de référence dans le modèle ELSYM5 de la route concernée. Déterminer les contraintes critiques qui en résultent dans la chaussée d'essai.¹ Évaluer ces contraintes en divers points sous l'assemblage des roues pour trouver les contraintes maximales.

Entrer les contraintes critiques générées par le camion de référence dans les formules de dégradation structurale provenant de l'Asphalt Institute (Mahoney et al., 1994) pour estimer le nombre de passages par un essieu avant qu'une détérioration finale par orniérage ou par fatigue ne se produise dans la chaussée.

Critères de dégradation structurale – Asphalt Institute

N_f = Nombre admissible de répétitions de charges à l'essieu - contrôle de la fissuration (la détérioration finale est définie par la présence de fissures de fatigue sur 10 % de la surface des traces de roue)

$$N_f = 0,0796 \times (\epsilon_v)^{-3,291} \times (E)^{-0,854}$$

où

ϵ_v = contrainte horizontale par tension au bas de la couche de bitume sous un groupe de roues

E = module de résilience de la couche de bitume

N_d = nombre admissible de répétitions de charges à l'essieu – contrôle de l'orniérage (la détérioration finale se définit par la présence d'ornières de 12,8 mm (1/2 po) de profondeur dans les traces de roue)

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times (\epsilon_c)^{-4,477}$$

où

ϵ_c = contrainte verticale par compression au-dessus de la couche de forme

¹ La contrainte horizontale maximale par tension au bas de la couche de bitume est considérée comme étant la contrainte critique qui contrôle la formation de fissuration par fatigue longitudinalement et latéralement dans les voies des roues. La contrainte verticale maximale par compression au-dessus de la couche de forme est considérée comme étant la contrainte critique qui contrôle la formation de dépressions de surface de grand rayon dans les voies des roues.

Additionner ensemble le nombre de passages d'essieu pour estimer le nombre de passages du camion de référence requis pour causer une détérioration finale par orniéragage et par fissures de fatigue. Le nombre le moindre des passages de camion avant détérioration finale indique le mode de détérioration déterminant, et ce mode devrait concorder avec les types de détérioration finale observés sur la route d'essai.

Faire la somme des estimations de passages d'essieux pour obtenir une estimation du nombre de passages de camion avant détérioration finale (exemple pour un ensemble à 7 essieux, tracteur à tridem moteur avec remorque tridem) :

- a) Passages de camion avant détérioration finale par fissuration de fatigue =

$$1 / [1/N_{f \text{ directeur}} + 3/N_{f \text{ moteur}} + 3/N_{f \text{ remorque}}]$$
- b) Passages de camion avant détérioration finale par orniéragage =

$$1 / [1/N_{d \text{ directeur}} + 3/N_{d \text{ moteur}} + 3/N_{d \text{ remorque}}]$$

Le nombre de passages de camion avant détérioration finale de la route = le moindre de a) et de b), ceci indiquant également le mode anticipé de détérioration finale (c.-à-d. par orniéragage ou par fissuration de fatigue).

Le nombre déterminant de passages du camion de référence avant détérioration finale est considéré comme étant l'estimation de la durée minimum acceptable pour la chaussée. Cette estimation de la durée doit être respectée si on ne veut pas que la pratique du camionnage sur des routes sujettes aux restrictions de charge augmente l'usure de la chaussée (c.-à-d. en raccourcisse la durée).

Spécifier la charge pour un camion d'essais à la poutre Benkelman. Diminuer les données d'entrée pour la résistance des couches de granulats et de forme, autant que requis, pour prédire des rebondissements lors d'essais à la poutre Benkelman (déflexions de surface) qui seraient plus importants que le niveau historique à la période de fin des interdictions. Les résultats du modèle sont des combinaisons de résistance des couches et de rebondissements lors d'essais à la poutre Benkelman auxquels on pourrait s'attendre sur la route concernée durant la période des restrictions de charge. Bien que non basées sur des mesures réelles de la résistance des couches dans la route d'essai, les résistances estimées devraient être représentatives des conditions d'affaiblissement par le dégel de la route concernée et devraient soutenir des comparaisons relatives entre les configurations de camion.

Entrer les charges, les surfaces de contact et l'espacement des pneus pour une configuration d'essai. D'après Blair (2001a), dans le cas d'empreintes de pneu plus longues (telles que développées à des pressions de pneus plus basses), on obtient des prévisions plus précises de la déflexion de la surface lors de l'application d'une charge sur deux ou quatre zones circulaires par pneu plutôt que sur une seule grande zone circulaire chevauchant les zones circulaires du pneu voisin dans le montage de roues jumelées.

Estimer les contraintes critiques de la chaussée pour chaque combinaison de résistance des couches. Répéter ce processus pour chacune des configurations d'essai.

Entrer les contraintes critiques qui en résultent dans les formules de l'Asphalt Institute et estimer le nombre déterminant de passages de camion avant détérioration finale pour chaque configuration d'essai et condition de résistance de la route. Déterminer, pour chaque configuration d'essai, quelle condition de résistance de la route (et de rebondissement lors d'essais à la poutre Benkelman) donne l'estimation de la durée la plus petite, mais supérieure à l'estimation de la durée minimum acceptable. Cette condition de résistance de la route correspond au point le plus faible (et le plus hâtif) auquel cette configuration d'essai particulière devrait reprendre le camionnage sur la route concernée.

Préparer un calendrier de reprise du camionnage pour chacune des configurations d'essai. Indiquer les points de reprise du transport sur la base des valeurs de rebondissement lors d'essais à la poutre Benkelman.

Effectuer des essais à la poutre Benkelman sur la route d'essai pour déterminer quand la chaussée a récupéré suffisamment de résistance pour permettre à chaque configuration d'essai de reprendre le camionnage.

Annexe II

Description des chaussées des sections d'essai

Section	Localisation de la section d'essai (km) ^{a, b}	Chaussée ^{c, d}	Couche de granulats (épaisseur (mm)) ^{c, d}	Classification du sol de la couche de forme ^e
1	2,80 km sur Nazko Road (dans la section témoin du BCMoT)	HMA, 85 mm d'épaisseur	CGB stabilisé de bitume (125 mm) sur SGSB (560 mm)	ML (silt de faible plasticité) (jusqu'à 630 mm de profondeur)
2	2,82 km sur Nazko Road (dans la section témoin du BCMoT)	HMA, 85 mm d'épaisseur	CGB stabilisé de bitume (125 mm) sur SGSB (560 mm)	ML (jusqu'à 630 mm de profondeur)
3	2,84 km sur Nazko Road (dans la section témoin du BCMoT)	HMA, 85 mm d'épaisseur	CGB stabilisé de bitume (125 mm) sur SGSB (560 mm)	ML (jusqu'à 630 mm de profondeur)
4	12,30 km sur Nazko Road (près du Quesnel Rod & Gun Club)	HMA, 85 mm d'épaisseur	CGB stabilisé de bitume (95 mm) sur SGSB (525 mm)	SP (jusqu'à 800 mm de profondeur approx.)
5	20,90 km sur Nazko Road (en haut de «21-Mile Hill»)	HMA, 85 mm d'épaisseur	CGB stabilisé de bitume (45 mm) sur SGSB (535+ mm)	GM (jusqu'à 850 mm de profondeur approx.)
6	21,30 km sur Nazko Road (en bas de «21-Mile Hill»)	HMA, 85 mm d'épaisseur	CGB stabilisé de bitume (45 mm) sur SGSB (535+ mm)	GM (jusqu'à 850 mm de profondeur approx.)
7	3,20 km sur Tibbles Road (près de Clarke Road)	CMA, 150 mm d'épaisseur	probablement semblable à la section 9	CL-SC (échantillon d'une excavation dans l'accotement)
8	4,20 km sur Tibbles Road (près de Welda Road)	CMA, 150 mm d'épaisseur	probablement semblable à la section 9	probablement semblable aux sections 7 et 9
9	6,60 km sur Tibbles Road (près de Cariboo Bible College)	CMA, 150 mm d'épaisseur	CGB (300 mm) sur SGSB (300 mm)	CL-SC (échantillon d'une excavation dans l'accotement)

^a 0,0 km sur Nazko Road a été déterminé comme étant l'intersection de Nazko Road et Blackwater Road.

^b 0,0 km sur Tibbles Road a été déterminé comme étant l'intersection de Tibbles Road et Nazko Road.

^c Les données relatives à l'épaisseur des couches et à la classification du sol pour Nazko Road ont été fournies par le BCMoT.

^d HMA (hot mix asphalt) : enrobé bitumineux à chaud; CMA (cold mix asphalt) : enrobé bitumineux à froid; CGB (coarse granular base aggregate) : matériau granulaire de fondation (grossier); SGSB (select granular subbase aggregate) : matériau granulaire de sous-fondation.

^e Classification du sol de la couche de forme d'après le Système unifié de classification de sols.

Entrées du modèle ELSYM5 pour Nazko Road (sections 1-3)

	Épaisseur (mm)	Coefficient de Poisson	Module de résilience (MPa)
Bitume	85	0,35	3400
Fondation	125	0,40	136 to 170
Sous-fondation	560	0,40	68 to 102
Couche de forme	illimitée	0,45	51 to 75

Annexe III

Guide d'accès à la participation au programme de camionnage TPCS du BCMoT

Ce guide schématique a pour but de fournir aux lecteurs une information générale actualisée en date d'octobre 2005. Les entreprises ayant l'intention de participer au programme de camionnage TPCS devraient entrer en contact avec leur bureau de district du BCMoT pour obtenir les détails du programme, les formulaires de demande et tout renseignement additionnel.

