

Contenu

- 1 Introduction
- 2 Objectifs
- 2 Méthodes d'étude
- 4 Résultats et discussion
- 12 Conclusions
- 14 Mise en application
- 15 Références
- 15 Remerciements

Évaluation de designs de routes forestières d'accès pour utilisation par des camions grumiers équipés de CTI – I : routes d'accès nouvellement construites

Résumé

Une opération forestière dans le nord de l'Alberta se sert de matériaux à texture fine trouvés sur place pour construire ses routes d'accès temporaires, lesquelles sont utilisées dans des conditions de gel et de non-gel. Les véhicules de transport qui y circulent sont équipés de systèmes de gonflage central des pneus afin de réduire les dommages à la route et d'améliorer la mobilité. Ce premier de deux rapports décrit une évaluation du design et de la construction de routes d'accès temporaires mises en usage l'année même de leur construction; quantifie les économies d'entretien par nivelage résultant du compactage de surface et de l'emploi de pressions de pneu optimisées; et discute de la validation d'un modèle d'orniérage du USDA Forest Service et de son potentiel d'utilisation dans d'autres applications.

Mots clés

Transport routier, Camions grumiers, Pneus, Système de gonflage central des pneus, Routes, Routes forestières, Compactage, Orniérage, Performance, Évaluation, Alberta

Auteur

Allan Bradley
anciennement de FERIC,
Division de l'Ouest

Introduction

Depuis le début de ses opérations forestières dans le nord-est de l'Alberta, Alberta-Pacific Forest Industries Inc. a connu des succès variés dans l'accès à ses blocs de coupe hors de la période de gel. La pluie, la rareté du gravier et les sols à texture fine, sensibles à l'humidité, contribuent à réduire la capacité de circulation et à augmenter l'entretien des routes. Alberta-Pacific a demandé à FERIC d'examiner la construction de ses routes d'accès temporaires utilisées en été (destinées à être remises en production forestière dans les deux ans) et de suggérer des moyens de diminuer les coûts d'entretien et d'améliorer l'accès (c.-à-d. de réduire le besoin d'assistance aux camions et de maintenir les vitesses de transport). De plus, l'examen

devait prendre en compte les rendements possiblement accrus par l'usage de systèmes de gonflage central des pneus (CTI).

FERIC a commencé son étude par une revue de la documentation traitant de l'effet de pressions de pneu variables sur le design et les dommages de la route (Bradley, 1997), et la préparation d'un sommaire. Au cours de l'été 1998, FERIC et Alberta-Pacific construisirent deux groupes de cinq variations du design habituel à « Fossé-V » utilisé par la compagnie pour ses routes d'accès temporaires, et les mirent en usage aussitôt construites. Les camions grumiers d'Alberta-Pacific équipés de CTI circulèrent sur le premier groupe de sections d'essai en utilisant des pressions de pneu normales pour voie publique (HP) et sur le second groupe avec des pressions de pneu optimisées

(OP). Le présent rapport documente les résultats de cet essai terrain. Pour les membres de FERIC qui aimeraient de plus amples détails techniques, une version plus complète du rapport est disponible sur demande.

Une seconde phase de l'évaluation des routes d'accès a été effectuée par FERIC et Alberta-Pacific en septembre 1999. Cette phase consistait à évaluer six sections d'essai de routes d'accès temporaires construites sans compactage de surface en septembre 1998 et laissées à « vieillir » (c.-à-d. à se densifier) pendant un an. Ces sections d'essai ont été soumises à la circulation en septembre 1999, la moitié d'entre elles avec des pressions normales de gonflage des pneus et l'autre moitié avec des pressions optimisées. Les résultats de cette seconde phase sur des routes « vieilles » feront l'objet d'un rapport subséquent.

Objectifs

L'objectif premier de cette étude était d'évaluer le design et la technique de construction des routes d'accès temporaires; cet examen comprenait les tâches suivantes :

- Quantifier le coût de construction et d'entretien pour chaque design de route.
- Déterminer l'efficacité du compactage de surface pour améliorer les caractéristiques de la route.

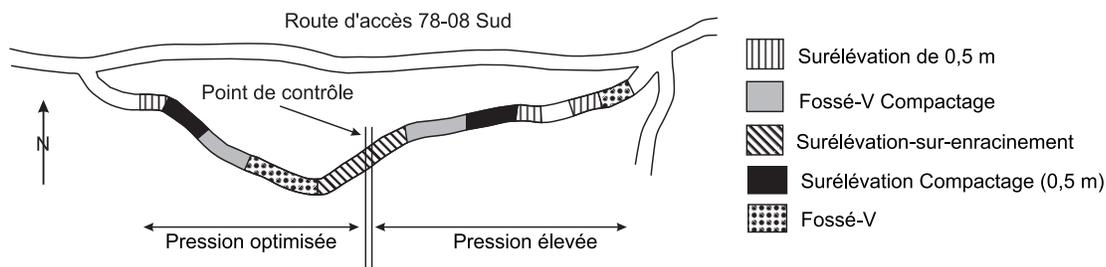
- Quantifier l'influence d'une optimisation de la pression des pneus sur la performance de la route.
- Suggérer des perfectionnements aux designs des routes d'accès.
- Valider l'utilisation d'un modèle d'orniérage du USDA Forest Service dans des applications en foresterie canadienne, en comparant ses prévisions de profondeur d'orniérage avec celles observées durant l'essai.

Méthodes d'étude

Construction des routes

Cinq variations du design standard des routes d'accès temporaires d'Alberta-Pacific ont été évaluées dans cet essai : Fossé-V (cas de référence), Fossé-V avec compactage, Surélévation de 0,5 m, Surélévation de 0,5 m avec compactage, et Surélévation sur enracinement. En juillet 1998, dix sections d'essai ont été construites consécutivement pour former une route d'essai de 1,1 k de longueur, rejoignant aux deux extrémités la route forestière d'accès 78-08 Sud (figure 1). Cet arrangement permettrait de diriger la circulation sur l'une ou l'autre route, selon les besoins. La route d'essai était construite de manière à reproduire deux fois chacun des cinq designs, une première série devant être soumise à la circulation de camions ayant des pressions de pneu normales pour voie publique, et l'autre des pressions de pneu

Figure 1. Vue en plan de la route récemment construite, montrant les sections d'essai.



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 iniquement 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.

optimisées par le CTI selon les conditions de fonctionnement des camions. FERIC a observé la construction de la route d'essai et évalué le coût de construction de chaque design. Les sections de route finies ont fait l'objet de relevés pour en déterminer la géométrie transversale et le profil de surface avant l'essai.

Essai de circulation

Quand les camions chargés entraient sur la route d'essai, les pressions des pneus étaient réglées aux pressions normales (élevées) pour voie publique programmées dans les contrôleurs de leur système CTI. Après avoir passé sur le premier groupe de cinq sections d'essai, les camions s'arrêtaient à un point de contrôle où leurs pneus étaient dégonflés à des niveaux optimisés de pression avant de circuler sur les cinq sections d'essai suivantes. Les réglages optimisés de pression étaient basés sur des recommandations de Tire and Rim Association (1998).

FERIC a observé la circulation sur la route d'essai durant des opérations normales de camionnage de 24 heures. Chaque camion chargé était inspecté avant d'être autorisé à circuler sur la route d'essai pour s'assurer que les pressions des pneus étaient réglées correctement.

Tous les véhicules chargés et à vide, à l'exception de camions grumiers chargés incapables de s'ajuster à des pressions de pneu optimisées, ont été autorisés sur la route d'essai durant l'étude. La circulation a continué pendant approximativement 250 charges – le nombre que des constructeurs de routes locaux expérimentés prévoyaient suffisant pour donner une indication claire de la performance du design.¹

Un échantillon de 70 répartitions du poids à l'essieu a été obtenu avec l'assistance du personnel d'Alberta-Pacific affecté aux balances, et utilisé pour estimer la répartition de la charge utile pour toutes les charges de camions ayant participé à l'essai. Les poids à l'essieu de chaque camion ont ensuite été convertis en charges équivalentes par essieu simple (ESAL)² en utilisant un facteur d'équivalence développé par le US Army

Corps of Engineers (Barber et al., 1978) (annexe I).

FERIC a mesuré la résistance du sol, les densités du sol et les teneurs en humidité durant et après le processus de construction. Des mesures de la résistance du sol au cisaillement ont été prises à l'aide d'un pénétromètre à cône dynamique (DCP). Les profils de densité de surface et les teneurs en humidité ont été déterminés après le nivelage final, et après le compactage. Des mesures ont été prises dans les traces de roues et le long de la ligne centrale. Des échantillons de sol ont été prélevés et analysés pour identifier le type de sol et quantifier les propriétés de base du sol.

Des mesures de profondeur d'orniérage ont été prises dans les deux traces de roue de chaque section d'essai à intervalles réguliers de circulation, ainsi qu'avant et après le nivelage. Quand la profondeur moyenne d'orniérage sur une section de traitement approchait approximativement 15 cm, on appelait une niveleuse et la route d'essai fermait pendant le nivelage de cette section.

Des données de conditions climatiques pour la période d'essai ont été reçues des stations d'observation les plus proches et exprimées en termes de précipitation et d'indice de risque d'incendie (FWI).³

Aux fins de comparaison, le coût de base pour la construction de chaque section d'essai a été estimé en faisant la somme des

¹ Ken Lyle, Frontier Resources Ltd., communication personnelle, juin 1996.

² L'ESAL (Equivalent Simple Axle Load) est un concept développé par des ingénieurs en conception de routes, dans le but de quantifier le potentiel de dommages à la route pour un véhicule de n'importe quel type et de n'importe quelles dimensions, en termes d'une unité standard – l'ESAL. Le fait de travailler en ESAL permet le design de routes pour tout type de véhicule ou combinaison de circulation. Cela permet également de prévoir l'influence, sur la durée de la route, de changements de certains paramètres de circulation tels que le volume, la charge à l'essieu ou la pression des pneus.

³ L'indice FWI donne une bonne indication des conditions de séchage et est calculé à partir d'une variété d'indices de conditions climatiques comprenant la précipitation, la température, la vitesse du vent et l'humidité relative pour la journée, ainsi que du FWI de la journée précédente.

coûts (durée de l'activité × taux demandé) pour toutes les pièces d'équipement de construction utilisées. Ce coût excluait les grands déblais et remblais, les temps morts opérationnels, le transport de l'équipement, les affiches et les ponceaux. Une comparaison relative entre les designs de route a été faite selon le coût total (c.-à-d. le coût de base estimé pour la section, auquel s'ajoutait son coût de nivelage durant l'essai). D'après cette analyse, des révisions spécifiques à la région ainsi qu'à l'utilisation ont été suggérées en rapport avec le processus courant de design des routes utilisé par Alberta-Pacific.

Les données relatives à la pression des pneus, aux charges à l'essieu, au nombre de passages et à la résistance de la route ont servi d'entrées dans le modèle de chemins de terre de l'Aggregate Surfacing Design Guide du USDA Forest Service (Whitcomb et al., 1990), pour comparer les profondeurs d'ornière prévues⁴ avec celles observées dans les sections d'essai.

La résistance des couches formant la route (mesurée dans les 30 à 45 cm supérieurs de la structure) a été considérée comme étant la mesure moyenne pour chaque type de design de route. Ces résistances ont été déterminées à partir de mesures au pénétromètre prises avant l'essai, converties en indices portants californiens (CBR) à l'aide d'une formule empirique tirée du manuel pratique de l'opérateur de DCP, préparé par le USDA Forest Service (1993).⁵ Il a été supposé que la résistance de la couche de surface de 15 cm d'épaisseur était égale à 1,7 fois la résistance des couches de forme (Whitcomb et al., 1990). Après validation à l'aide des données de la route d'essai, des prévisions d'orniérage à long terme ont été faites pour les sections d'essai.

Résultats et discussion

Construction de la route

Des échantillons de sol prélevés au hasard le long de la route d'essai ont montré

principalement des silts sableux ayant peu de plasticité. De plus amples détails sur les analyses de sol sont présentés en annexe II. D'après l'AASHTO (1990), les silts sableux sont considérés comme des matériaux médiocres à mauvais pour construire la forme d'une route. Ayant peu ou pas de résistance une fois complètement secs, ces sols sont modérément compressibles, et peuvent être susceptibles au soulèvement par le gel. Cependant, quand ils sont entièrement compactés et saturés, ils développent une assez bonne résistance au cisaillement et deviennent semi à entièrement imperméables.

Les constructeurs de routes d'Alberta-Pacific ont modifié leurs techniques de travail de façon à s'accommoder du caractère imperméable de ces routes à base de silts. Ils construisent les nouvelles routes en courts segments qui peuvent être rapidement rendus étanches (par le passage de machines) en cas de pluie imminente, afin d'éviter la saturation de la structure de la route. Si la construction est reprise sur une route saturée d'eau avant qu'elle ne soit complètement sèche, la couche superficielle imperméable développée par le passage des machines retiendra l'humidité qui reste dans la structure de la route, réduisant sa capacité portante et favorisant l'orniérage. Le passage de véhicules forestiers (particulièrement des débardeurs) sur des routes d'accès nouvellement construites a parfois créé en surface de profondes ornières qui recueillent l'eau et la laissent s'infiltrer dans la structure de la route, surtout dans les dépressions. Si le temps est plus sec, un buteur ou une niveleuse sont utilisés pour retravailler la surface de la route de façon à la faire sécher et à rétablir un drainage approprié durant

⁴ L'équation suivante a été utilisée pour prévoir la profondeur des ornières :

$$\text{Profondeur des ornières (mm)} = \frac{140,9522 \times (\text{ESAL} \times \text{répétitions de la charge})^{0,2418}}{(\text{CBR de la couche de surface})^{0,9169} \times (\text{CBR de la couche de forme})^{0,0365}}$$

⁵ CBR = 405,3/(DCP)1,259 où DCP est le taux de pénétration en mm/coup.

les périodes d'utilisation active par les exploitants forestiers. Si le temps est humide, Alberta-Pacific interrompt toute circulation sur ses routes jusqu'à ce que la surface soit sèche. Les pentes dans cette région contiennent normalement des couches sèches de sable et d'argile. En faisant des coupes pour réduire la pente, les constructeurs de routes ont parfois accès à ces matériaux et les utilisent pour remplir les dépressions humides et recouvrir d'argile la surface de la route.⁶

L'attribut le plus nuisible des routes forestières d'accès à base de silt, construites par Alberta-Pacific, pourrait être leur perte de traction de surface une fois humides. Comme elles n'ont pas en surface une couche de gravier de traction, une précipitation étonnamment faible peut provoquer une perte totale et soudaine de traction des véhicules.

Des soins particuliers dans la planification des routes (p. ex. orientation favorisant le séchage et anticipation du drainage), dans la technique de construction (p. ex. section transversale et largeur appropriées, compactage, et travaux effectués en conditions sèches) et dans l'entretien (p. ex. assurer le drainage par un entretien adéquat) peuvent réduire le temps de récupération de la traction après une précipitation et pourraient améliorer la fiabilité des routes forestières d'accès à base de silt.

La figure 2 montre une section d'essai normale à Fossé-V, telle que construite, le modèle de route d'accès le plus courant construit par Alberta-Pacific. La route à Fossé-V tire son nom des fossés de forme

triangulaire creusés par le boueur durant la construction. Ce type de route n'est habituellement pas compacté. Le coût moyen de construction des deux sections d'essai Fossé-V était environ de 106 \$/100 m, ce qui excluait tous les déblais et remblais d'importance, le transport de l'équipement, le drainage transversal et les affiches (tableau 1). Le coût moyen de construction des deux sections Fossé-V Compactage était légèrement plus élevé, soit 134 \$/100 m.

Le second design de construction évalué était une Surélévation de 0,5 m (figure 3). Ce type de design serait couramment utilisé dans des dépressions et autres zones mouilleuses où la chaussée doit être élevée au-dessus de la nappe phréatique.⁷ En général, les sections de route surélevées ne sont pas non plus compactées. Le coût moyen de construction des deux sections Surélévation était de 373 \$/100 m. Chose étonnante, ce coût de construction était en fait légèrement plus haut que le coût moyen des sections Surélévation Compactage (319 \$/100 m). Bien que l'échantillon soit petit, les différences peuvent s'expliquer par les différences de productivité entre les techniques utilisées pour construire les sections de route.

Le troisième design de route, Surélévation-sur-enracinement, est une

⁶ Emery Gorman, Green Country Resource Managers, communication personnelle, juillet 1998.

⁷ L'expérience d'Alberta-Pacific avec les sols locaux est qu'un relèvement de 0,5 m est adéquat pour assurer le drainage. Cependant, cette surélévation doit atteindre 1 m dans une partie de son FMA où les sols sont principalement constitués d'argile.

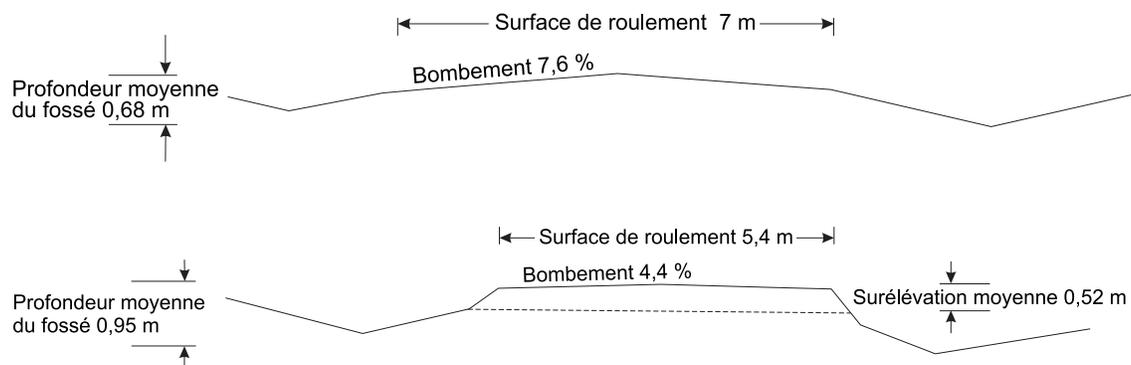


Figure 2. Profil transversal type d'une route à Fossé-V, telle que construite.

Figure 3. Profil transversal type d'une route à Surélévation, telle que construite.

technique utilisée avec succès en Ontario dans des situations où les sols des couches de forme sont très mouilleux, ou absents (c.-à-d. que l'enracinement repose sur la roche-mère) (figure 4). Les racines fournissent le renforcement favorisant le drainage des matériaux surélevés. L'abatteuse-façonneuse devrait couper les souches aussi basses que possible, puisque des souches hautes requièrent plus de matériaux de surélévation pour les couvrir et peuvent ressortir à travers la surface de roulement au fur et à mesure de la circulation.

La hauteur moyenne de surélévation pour les deux sections sur enracinement était de 0,58 m, ce qui était légèrement plus élevé que pour les sections d'essai Surélévation. À un coût de construction

moyen de 419 \$/100 m, ces deux sections ont été les plus chères à construire. Cependant, cette méthode de construction pourrait être économique comparativement à la technique d'Alberta-Pacific qui consiste à solidifier les zones mouilleuses problématiques au moyen d'une couche de rondins contigus, recouverts de remblai.

Le tableau 1 présente un sommaire du coût de construction des sections d'essai, et on trouvera à l'annexe III un compte rendu détaillé du procédé de construction routière d'Alberta-Pacific. Il existait une grande variation dans le coût unitaire de construction des sections d'essai, p. ex. le coût de la section Surélévation (HP) était trois fois plus élevé que celui de la section Surélévation (OP). La productivité variait

Figure 4. Profil transversal type d'une route à Surélévation-sur-enracinement, telle que construite.

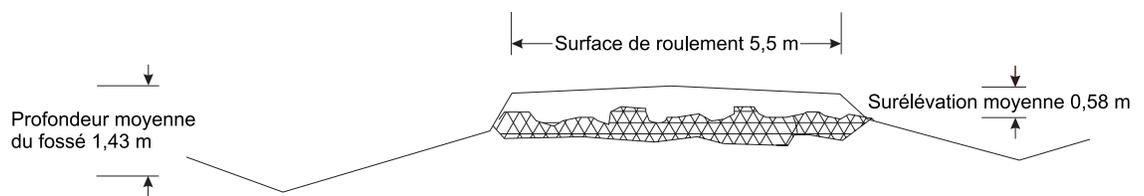


Tableau 1. Coût de construction des sections d'essai

	Équipement de construction utilisé ^a					Coût total de construction (\$)	Longueur construite (km)	Coût unitaire de construction (\$/100 m)	Coût moyen de construction (\$/100 m)
	D7H	D7G	E	C	G				
Fossé-V (HP) ^b	X			X		172	0,096	179	106
Fossé-V (OP) ^b		X	X		X	133	0,192	69	
Avec compactage									
Fossé-V (HP)	X		X	X	X	276	0,163	169	134
Fossé-V (OP)		X	X	X	X	138	0,145	95	
Surélévation (HP)	X	X	X		X	572	0,118	485	373
Surélévation (OP)		X	X		X	92	0,060	153	
Avec compactage									
Surélévation (HP)	X		X	X	X	604	0,138	438	319
Surélévation (OP)		X	X	X	X	170	0,105	162	
Surélévation-sur-enracinement (HP)	X		X		X	446	0,106	421	419
Surélévation-sur-enracinement (OP)	X		X		X	694	0,166	418	

^a D7H = boteur Caterpillar D7H, D7G = boteur Caterpillar D7G, E = excavatrice Hitachi EX270LC, C = compacteur vibrant Hamm à pieds de mouton, G = niveleuse Caterpillar 14G.

^b HP = pressions de pneu normales (élevées); OP = pressions de pneu optimisées (réduites).

substantiellement selon le type de machines utilisées et leur interaction.

Les commentaires d'opérateurs de machines expérimentés ont indiqué que, pour les sols à texture fine rencontrés dans cet essai, un buteur et une niveleuse plus légers et de moindre puissance auraient été adéquats et possiblement plus productifs que les modèles plus lourds utilisés.⁸

L'excavatrice était équipée d'une lame de formage à montage articulé (figure 5), qui améliorait la dextérité de la machine et lui permettait de construire les fossés plus rapidement et avec des talus plus doux et plus stables que le buteur.⁹ Un an après l'étude, l'auteur a observé davantage de glissement de terrain dans les talus ainsi que de fossés bloqués, sur les sections où les fossés avaient été creusés par le buteur que sur celles où ils avaient été creusés par l'excavatrice avec sa lame de formage.

La figure 6 montre un compacteur vibrant Hamm à pieds de mouton qui prépare une des sections d'essai. C'est un type standard de compacteur utilisé pour la construction des voies publiques; il est considéré efficace à une profondeur de 20 cm dans la plupart des conditions de sol. Suivant une des recommandations du fabricant (Hyster Company, 1972), le compacteur faisait huit passages qui se chevauchaient, utilisant la vibration, sur toute la surface de roulement de chacune des sections d'essai compactées.

Le compactage de routes forestières à base de silt renforce la surface de la route et augmente sa capacité à écouler les précipitations. Ceci, à son tour, réduit le nivelage requis et permet la reprise de la circulation plus rapidement après la pluie. L'annexe II présente de plus amples renseignements sur les mesures de densité du sol. Bien que les augmentations de densité *in situ* aient été relativement faibles, elles étaient suffisantes pour réduire de façon notable le nivelage requis sur les sections Surélévation Compactage (figure 7),



Figure 5. Creusage de fossés par l'excavatrice à l'aide d'une lame de formage.



Figure 6. Compacteur vibrant à pieds de mouton utilisé sur la route d'essai.

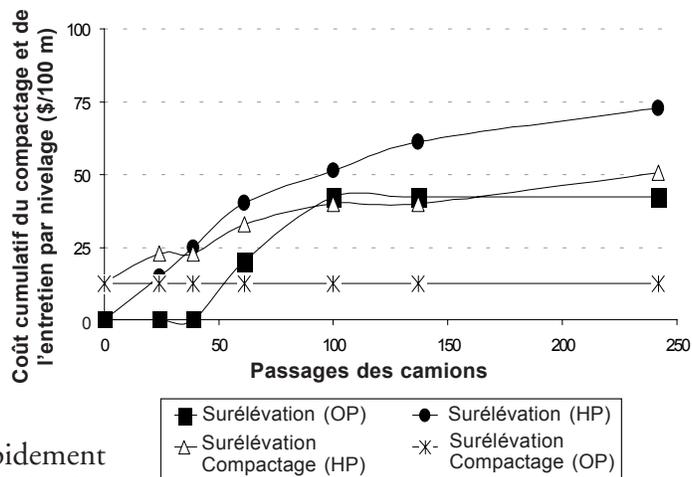


Figure 7. Efficacité du compactage sur les sections surélevées.

⁸ Allen Burnett, opérateur de buteur, et Guy Lofstrand, opérateur de niveleuse, communication personnelle, juillet 1998.

⁹ Ray Vincent, opérateur d'excavatrice, communication personnelle, juillet 1998.

mais elles n'ont pas produit d'avantage mesurable sur les sections Fossé-V Compactage durant la période d'essai (tableau 2).

La teneur en eau naturelle des sections d'essai compactées ne dépassait pas de plus de 3 % l'humidité optimale. Si la surface de la route avait séché plus longtemps avant le compactage, des densités plus élevées auraient été atteintes. Le compactage entre la mise en place de couches successives de matériaux de 15 cm de profondeur ajoutées sur les sections de route surélevées aurait vraisemblablement créé une structure plus ferme qui, à son tour, aurait supporté un degré plus élevé de compactage en surface. Ceci serait particulièrement efficace si, après avoir compacté la base, un capuchon de protection en argile était placé et compacté.¹⁰ Le compactage par couches additionnelles n'a pas été tenté durant la construction des sections surélevées pour des raisons de coût et de disponibilité d'équipement; cependant, il existe des accessoires de compactage remorqués et leur utilisation devrait être considérée dans l'avenir.

Essai de circulation

Les conditions climatiques pendant la période d'essai étaient mixtes, avec nuages, soleil et températures chaudes durant le jour, et des températures aussi basses que 2 °C durant la nuit. Une faible quantité de pluie tomba peu avant et durant l'essai, mais elle n'était pas suffisante pour interrompre le transport des billes. L'indice FWI reflétait

les conditions climatiques mixtes observées durant l'essai, variant entre 11 et 26, avec alternance de courtes périodes d'humidité et de séchage.

La masse totale en charge (MTC) des camions grumiers durant l'essai était en moyenne de 60,2 tonnes (t), ce qui est légal sur voie publique et légèrement inférieur au poids maximal autorisé de 62,5 t; leur charge utile moyenne était de 40,4 t (annexe I). Les pressions de pneu normales pour voie publique (HP) et les pressions optimisées (OP) utilisées par les camions chargés durant l'essai sont présentées à l'annexe I. Seulement 39 % des systèmes CTI étaient capables d'optimiser la pression des pneus des roues directrices, de sorte que la pression optimisée moyenne des pneus des roues directrices n'a été réduite que de 15 kPa pour atteindre 640 kPa.

L'amélioration résultant de l'utilisation de pressions de pneu optimisées variait considérablement selon le design de la route, comme l'indique le tableau 2. La raison de la variation entre les sections Surélévation et Surélévation Compactage semble être que les matériaux de surface de la section non compactée étaient trop faibles pour supporter les camions chargés, même avec des pressions de pneu optimisées, alors que les matériaux de la section compactée étaient suffisamment résistants pour supporter ces camions s'ils utilisaient des pressions de pneu

¹⁰ Emery Gorman, Green Country Resource Managers, communication personnelle, juillet 1998.

Tableau 2. Effet de l'optimisation des pressions de pneu sur les coûts d'entretien par nivelage

Design de route	Coût d'entretien de la section (HP) (\$/100 m)	Coût d'entretien de la section (OP) (\$/100 m)	Économies dues à l'utilisation de pressions optimisées	
			(\$/100 m)	(%)
Fossé-V	0	0	0	0
Fossé-V compactage	0	0	0	0
Surélévation	48,7	39,6	9,1	19
Surélévation compactage	37,9	0	37,9	100
Surélévation-sur-enracinement	39,0	40,2	(1,2)	(3)

optimisées. La fréquence de nivelage de ces sections Surélévation a diminué à mesure que l'essai progressait parce que la circulation et le nivelage renforçaient la surface de la route, même si l'intervalle entre les nivelages augmentait plus lentement dans les sections où on circulait avec des pressions de pneu élevées.

Les quatre sections à Fossé-V n'ont montré aucune différence dans le coût du nivelage d'entretien parce qu'aucune n'a demandé de nivelage durant la période d'essai. Cependant, les deux sections Fossé-V non compactées s'étaient détériorées à la fin de l'essai et auraient nécessité un nivelage si l'essai avait duré plus longtemps. Les sections Surélévation-sur-enracinement ont toutes deux été nivelées cinq fois et toujours en même temps. Bien que les ornières aient semblé se former un peu plus vite en général dans la section où les pneus circulaient avec une pression élevée, une dépression à sol mou dans la section (OP) a nécessité un entretien tout aussi fréquent.

La figure 7 illustre l'efficacité du compactage des sections d'essai surélevées. Le coût cumulatif des routes dans cette figure comprend uniquement le coût du nivelage d'entretien et le coût de compactage de la route. Il a été supposé que les autres coûts de construction étaient équivalents pour toutes les sections surélevées et ils n'ont pas été inclus. Le coût de compactage des sections d'essai était approximativement de 125 \$/km. Le coût cumulatif de la route pour les sections à pression des pneus élevée (HP) est devenu égal après 40 passages (c.-à-d. que le coût supplémentaire du compactage a été récupéré après seulement 40 passages). À partir de ce point, le coût cumulatif de la route était moindre pour la section Surélévation Compactage (HP) que pour la section Surélévation (HP). Les sections à pression optimisée (OP) montraient une tendance similaire, le point mort

se produisant à environ 60 passages. On s'attend à ce que des routes silteuses surélevées et compactées se débarrassent mieux de l'eau et récupèrent plus rapidement après avoir été mouillées.

L'annexe 1 quantifie le changement dans les dommages potentiels à la route d'accès, pour un train double de type B à huit essieux, chargé, si la pression de gonflage des pneus est réduite. Théoriquement, l'optimisation des pressions des pneus cause une réduction de 5,76 ESAL par trajet aller-retour. Ceci correspond à un orniérage 61 % plus lent (et à un nivelage 61 % moins fréquent) causé par cette configuration quand les pressions des pneus sont optimisées.

Pour estimer la diminution des dommages causés à la route quand le nombre d'ESAL d'un camion est réduit, le USDA Forest Service a développé le modèle d'orniérage Surfacing Thickness Program (STP) (Whitcomb et al., 1990), un modèle empirique qui a été validé lors d'essais terrain subséquents (Truebe et Evans, 1994). FERIC a utilisé ce modèle pour prévoir le développement des ornières pour les sections d'essai qui n'ont pas été nivelées durant l'étude : toutes les sections à Fossé-V et la section Surélévation Compactage (OP). Les prévisions ont été représentées sur graphique et comparées aux mesures réelles d'orniérage (figures 8 et 9). On n'a pas tenté de faire des prévisions pour les sections Surélévation-

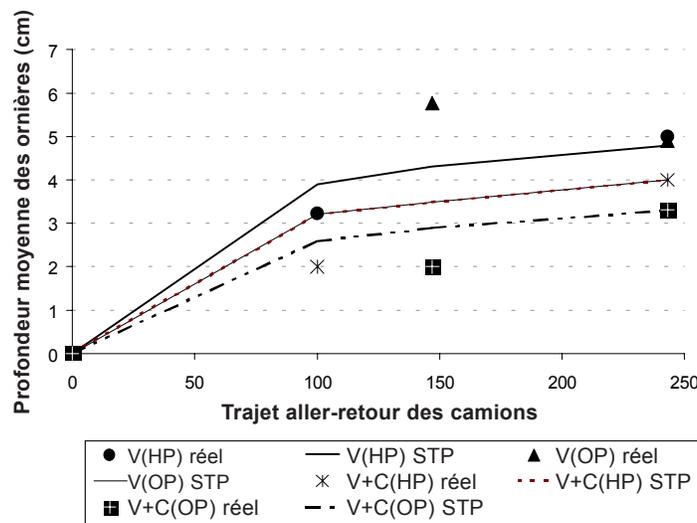
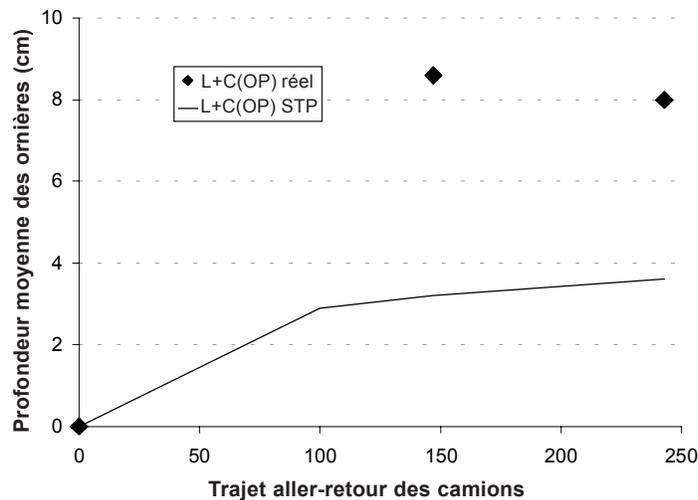


Figure 8. Profondeurs réelles et prévues des ornières pour les sections d'essai Fossé-V.

Figure 9.
Profondeurs réelles et prévues des ornières pour la section d'essai Surélévation Compactage (OP).



sur-enracinement, parce que la couche de racines confère aux matériaux sus-jacents une résistance non connue.

Le modèle STP a prévu le développement d'ornières dans les sections d'essai Fossé-V avec une erreur moyenne de 6 % (c.-à-d. que l'erreur combinée moyenne pour les quatre sections Fossé-V représente une sous-estimation de 6 % pour la période initiale (247 voyages). Les prévisions du STP à mi-chemin de cette période étaient moins précises, donnant en moyenne une surestimation de 22 % comparativement aux mesures réelles de profondeur des ornières. Pour l'évaluation de configurations de camion, de traitements de route, ou d'intervalles de nivelage qui sont comparables, ce degré de précision peut être acceptable.

La profondeur des ornières pour la section Surélévation Compactage (OP) a été sous-estimée de 63 % et de 55 %, à 150 et à 250 passages de camion respectivement (figure 9). La raison n'en est pas claire; cependant cela pourrait être dû en partie au fait que le compactage n'était appliqué qu'à la couche de surface, une fois les matériaux de surélévation bien en place. Cela pourrait aussi être relié à la difficulté éprouvée par les conducteurs à varier leurs traces de roues pour abaisser les bordures soulevées des ornières, à cause de la largeur réduite de la surface de roulement sur ces sections. Dans ce cas, les surfaces de roulement telles

que construites des sections surélevées (c.-à-d. Surélévation, Surélévation Compactage et Surélévation-sur-enracinement) avaient en moyenne 5,5 m de largeur, ce qui est environ 0,5 m de moins que les paramètres de design d'Alberta-Pacific et 1,1 m de moins que pour les sections Fossé-V. La variation des traces de roues est un aspect essentiel de la réduction du développement d'ornières, quand on utilise des pressions

de pneu optimisées (Bradley, 1996).

Quand une route est meuble et que les ornières sont profondes, l'occasion la plus favorable pour varier les traces des roues survient quand les camions circulent à vide.¹¹ Normalement, les conducteurs évitent de conduire sur les bordures surélevées, plus meubles, d'ornières profondes quand les camions sont lourdement chargés.

Durant la circulation, un profond orniérage s'est produit le long de la route depuis les emplacements des trois ponceaux de drainage. Il semble que cet orniérage ait débuté quand les camions se sont enfoncés dans un remblai relativement peu compacté autour des ponceaux. Ceci indiquerait que les méthodes courantes d'installation des ponceaux devraient être modifiées de façon à augmenter le compactage du remblai autour de chacun d'entre eux. Un compactage adéquat peut être réalisé en suivant les pratiques recommandées d'installation des ponceaux (Wilson, 1996).

Le modèle d'orniérage a été utilisé pour prévoir à long terme le développement des ornières sur les sections à Fossé-V de la route d'essai (figure 10). Aux fins de prévisions, une profondeur de déclenchement du nivelage de 7,6 cm a été spécifiée (c'est-à-dire que le nivelage est censé être effectué après que la profondeur des ornières a atteint 7,6 cm).

¹¹ John Ellison, employé d'Alberta-Pacific Woodlands, communication personnelle, juin 1998.

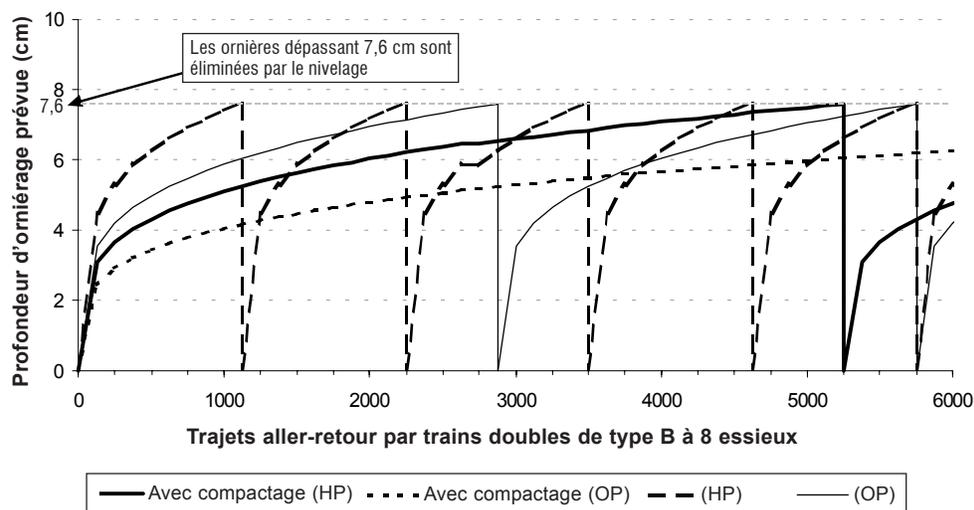


Figure 10.
Orniérage prévu pour la route à Fossé-V, selon le modèle STP.

Les prévisions supposaient que les résistances des routes étaient similaires à celles mesurées durant l'essai et, se basant sur les valeurs CBR mesurées, que la route compactée était 1,5 fois plus résistante que la route non compactée.

À la fin de l'essai, les sections Fossé-V (HP) et (OP) montraient un orniérage plus profond que les sections Fossé-V Compactage (HP) et (OP). Le modèle prévoit que la section Fossé-V (HP) aurait nécessité un nivelage bien après la fin de l'essai (c.-à-d. après 1125 passages de camion ou environ 45 750 t de charge utile) et un nivelage relativement fréquent par la suite. Parce que les camions utilisant des pressions de pneu optimisées préservent la structure de la route, il est prévu que la section Fossé-V (OP) nécessitera un nivelage après 2875 passages ou 116 918 t de charge utile. Des intervalles de nivelage beaucoup plus longs sont prévus pour les sections Fossé-V Compactage, ce qui indique que les routes d'accès à Fossé-V destinées à une forte circulation devraient être compactées. Cependant, il est recommandé d'être prudent en faisant des prévisions sur une longue période de temps parce que des changements dans les conditions climatiques pourraient amener la résistance de la route à s'éloigner de façon significative de celle spécifiée pour les prévisions.

Le modèle d'orniérage apparaît comme un outil utile pour modéliser l'effet de

changements dans les variables de circulation sur le développement d'ornières dans les routes d'essai à Fossé-V. D'autres essais sont recommandés pour confirmer son application pour la grande variété de types de sols et de conditions climatiques rencontrées dans les opérations canadiennes de transport des billes. Cependant, une fois que le modèle aura été validé, il existe plusieurs applications possibles pour son utilisation.

Performance globale

Le tableau 3 classe la performance des sections d'essai de la route nouvellement construite qui ont été soumises à la circulation avec pression de pneu optimisée (c.-à-d. soumises aux conditions conventionnelles de transport d'Alberta-Pacific). Le coût minimum de construction correspond à la technique la moins coûteuse pour ce design – en supposant que la technique la plus efficace serait utilisée dans sa construction. La profondeur des ornières après 250 charges a été incluse pour illustrer l'état de la route à la fin de l'essai et la probabilité d'un coût additionnel d'entretien dans un avenir prochain. La classe de performance pour les cinq designs a été basée sur une combinaison du coût de la route et des exigences pour la situation, compte tenu des conditions climatiques et de sol relativement sèches durant l'essai.

Tableau 3. Classement de la performance des sections de route avec circulation sur pneus à pression optimisée

Design de route	Coût de construction minimum (\$/km)	Coût d'entretien par nivelage (\$/km)	Coût combiné de la route (\$/km)	Profondeur des ornières après 250 charges (cm)	Classement de la performance
Fossé-V	693	0	693	6,5	meilleur
Fossé-V Compactage	952	0	952	4,2	deuxième meilleur
Surélévation	1 619	0	1 619	9,0	sur-construit
Surélévation Compactage	1 533	396	1 929	nivelé 2 fois	inapproprié
Surélévation-sur-enracinement	4 180	402	4 582	nivelé 5 fois	le moins approprié

La section Fossé-V a été classée comme le meilleur design d'après sa bonne performance et son coût combiné le plus bas. Selon les prévisions, la performance de ce design est considérablement améliorée par le compactage. Cependant, cette amélioration n'est pas jugée nécessaire étant donné le volume anticipé de circulation sur la route d'accès de l'étude. Par conséquent, le design Fossé-V Compactage est considéré sur-construit et classé comme le deuxième meilleur design. La surélévation ajoutée dans le design Surélévation Compactage (0,5 m) n'était pas requise dans les conditions de sol bien drainé de la route d'essai, de sorte que ce design a aussi été considéré sur-construit, compte tenu des conditions de l'essai. Cependant, à cause de son coût combiné plus élevé et de son nivelage imminent (si l'essai s'était poursuivi), il n'a pas été classé aussi bien que le design Fossé-V Compactage. Le 0,5 m de matériaux meubles dans le design surélevé présentaient un problème d'orniérage et auraient grandement bénéficié d'un compactage. Par conséquent, il a été classé comme inadéquat. Le design Surélévation-sur-enracinement a été classé comme le moins adéquat à cause de son coût élevé et de l'entretien fréquent requis. Il pourrait bénéficier d'un compactage, mais les constructeurs de ce design dans des sites mouilleux en Ontario ont constaté qu'une vibration excessive durant le compactage peut faire monter l'eau à travers l'enracinement.¹²

La performance des designs d'essai et, par suite, les classes de performance auraient vraisemblablement été différentes dans des conditions de sol et/ou de drainage différentes. Si les sites avaient été situés dans des dépressions humides, il aurait davantage été nécessaire d'élever le niveau et le design Surélévation Compactage aurait pu être le plus adéquat. Cependant, pour les fins de cette comparaison, le site choisi pour la route d'essai présentait un alignement, un type de sol, des conditions de drainage, des conditions climatiques et un volume de circulation uniformes, de façon à garder ces influences constantes et à permettre de comparer les effets du compactage et des pressions de pneu.

Conclusions

Le coût de construction de sections du même design a varié grandement, les différences étant fortement influencées par les combinaisons d'équipements utilisées et l'interaction des machines. La lame de formage à montage articulé sur l'excavatrice améliorerait la dextérité de cette machine et lui permettrait de construire des fossés plus rapidement et avec des talus plus stables.

Le compactage des sections d'essai a augmenté leur densité sèche de 5 %. Cependant, les densités *in situ* étaient encore bien inférieures aux densités sèches

¹² John Ellison, employé d'Alberta-Pacific Woodlands, communication personnelle, juin 1999.

maximales. Toutes les sections compactées sauf une avaient un contenu en eau naturelle plus élevé que leur contenu optimum en eau, ce qui pourrait avoir réduit l'efficacité de l'équipement de compactage. Néanmoins, l'augmentation relativement faible de densité après compactage a entraîné des économies de route pour les sections surélevées après les 40 à 60 premiers passages de camions. Aucun bénéfice de coût similaire n'a été démontré pour les sections compactées à fossé triangulaire, puisque aucun nivelage d'entretien n'a été requis sur les sections Fossé-V, compactées ou non compactées, durant la période d'essai. Cependant, quand l'essai s'est terminé, la profondeur d'orniérage était plus grande sur les sections Fossé-V non compactées, indiquant qu'un nivelage aurait été nécessaire plus rapidement que sur les sections compactées.

Théoriquement, l'optimisation des pressions de pneu réduisait de 61 % le potentiel de dommages par les camions d'essai chargés. Pour la durée de l'étude (250 passages de camions chargés), l'utilisation de pressions de pneu optimisées a eu pour résultat une baisse de 19 % et de 100 % de l'entretien par nivelage pour les sections Surélévation et Surélévation Compactage, respectivement, comparativement aux sections équivalentes où les camions circulaient avec une pression élevée des pneus. On croit que cette variation est due à l'incapacité des matériaux de surface dans les sections surélevées non compactées à supporter les camions sans orniérage, même à des pressions optimisées, alors que le compactage renforçait suffisamment les matériaux de surface dans les sections surélevées compactées pour supporter les camions qui utilisaient des pressions de pneu optimisées. L'intervalle de nivelage pour ces sections surélevées a augmenté à mesure que l'essai progressait parce que la circulation et le nivelage renforçaient la surface de la route. L'intervalle de nivelage a augmenté plus lentement dans les sections où les camions

avaient des pressions de pneu élevées, indiquant que des pressions de pneu optimisées pourraient être plus efficaces pour contrôler l'orniérage dans ces designs de route et ces types de sol que l'utilisation de pressions de pneu élevées et de nivelage.

Des surfaces de roulement étroites, comme celles observées dans les sections avec surélévation et/ou sols non compactés, réduisent la possibilité pour les camions de varier les traces de roues pour remédier à l'orniérage. Il en résultait un orniérage accru et un nivelage plus fréquent sur ces sections. Un orniérage plus rapide se produit également si les approches des ponceaux sont compactées de façon inadéquate, entraînant un nivelage additionnel, des dommages aux ponceaux, des vitesses de déplacement plus lentes et une assistance plus fréquente aux véhicules.

Le modèle d'orniérage a prévu avec une précision raisonnable les profondeurs d'ornières développées par 250 charges de camions, pour les quatre sections d'essai Fossé-V. Cependant, les prévisions à 100-150 charges de camion étaient modérément sous-estimées. Les profondeurs d'ornières des sections d'essai Surélévation Compactage (OP) étaient considérablement sous-estimées – une erreur résultant possiblement du compactage uniquement de la couche supérieure de surélévation, et possiblement de l'étroitesse de la surface de roulement des sections surélevées qui limitait la capacité des camions à varier les traces de roues, accélérant ainsi le développement des ornières.

Le classement de la performance des designs de route d'après le coût et l'acceptabilité indique que la section Fossé-V était le design le plus approprié dans les conditions de l'essai. La performance des designs d'essai et, par conséquent, l'évaluation de performance auraient vraisemblablement été différentes dans des conditions de sol et/ou de drainage différentes.

Mise en application

Pour obtenir une productivité optimale de l'équipement, les dimensions, la masse et la puissance de l'équipement devraient toujours être bien assorties aux exigences de la tâche. La construction de routes d'accès pour circulation immédiate, dans des sols principalement à texture fine, requiert moins de puissance et bénéficierait de l'utilisation de machinerie plus petite et plus légère. L'utilisation d'une lame de formage montée sur excavatrice est préférable pour creuser des fossés dans des sols silteux très érodables.

Des essais devraient être effectués localement sur les sections Surélévation Compactage et Surélévation-sur-enracinement pour déterminer si, et dans quelles circonstances, ces designs sont économiques. Cette procédure d'essai devrait être répétée pour évaluer les designs dans des sols sableux ou constitués de dépôts glaciaires.

Les niveaux de compactage réalisés durant l'essai étaient sous-optimaux et auraient pu être améliorés en portant plus d'attention à l'humidité du sol et à la technique de compactage. Le compactage du terrain peut être amélioré en effectuant de simples essais sur le terrain pour estimer la teneur en humidité des sols locaux, et en déterminant le dispositif et les techniques de compactage ayant le meilleur rapport coût-efficacité, compte tenu des conditions de sol et des méthodes de construction locales.

Les matériaux utilisés en surélévation devraient être compactés par couches n'excédant pas la profondeur efficace du compacteur. On devrait également considérer le rapport coût-efficacité dans l'utilisation de produits chimiques de stabilisation tels que chaux vive ou cendres, en combinaison avec le compactage, quand on tente de renforcer et de sécher des sections problématiques de route d'accès mouilleuses et silteuses.

Durant l'essai, un début d'orniérage excessif a été observé aux endroits de drainage transversal où le compactage était

inadéquat. Pour prévenir des blocages localisés et les temps morts qui en découlent pour le transport, on devrait suivre les pratiques recommandées d'installation des ponceaux. De même, un orniérage excessif a également été observé là où la largeur de la surface de roulement avait été réduite durant la construction. Une largeur minimale de 6,0 m devrait être conservée pour la surface de roulement afin d'assurer que les camions ont un espace adéquat pour varier leurs traces de roues et corriger les ornières existantes. Une largeur de 7,0 m, comme dans les sections à Fossé-V, serait préférable.

Les entreprises forestières utilisant des systèmes CTI devraient établir et mettre en vigueur une politique de pression de pneus basée sur un ensemble de réglages de pression approuvés par le fabricant pour s'assurer de retirer le plein bénéfice des systèmes CTI. Ceci pourrait être fait par le biais de programmes de formation et par l'autosurveillance des conducteurs. Des essais locaux pour documenter l'augmentation des économies de coût reliées aux pneus, au carburant et à la traction par suite de l'utilisation correcte des systèmes CTI pourraient aussi être convaincants. Les programmes de formation pour les conducteurs utilisant un système CTI devraient leur enseigner à abaisser les côtés élevés des ornières avec leurs camions non chargés.

Le fait de réduire les vitesses des véhicules à environ 40 km/h et d'optimiser les pressions de pneu pourrait aider les camions équipés de CTI à reprendre le transport une demi-journée à une journée plus tôt après une pluie parce que les camions recompactent et assèchent la surface sans tracer de profondes ornières.¹³ Ceci pourrait être un avantage substantiel des opérations de transport de billes avec CTI, pourvu qu'aucun autre facteur n'empêche le début du transport.

¹³ Dennis Young, Weyerhaeuser, communication personnelle, juin 1999.

Le modèle d'orniérage apparaît comme un outil utile pour modéliser l'effet de changements dans les variables de circulation sur le développement d'ornières dans les routes d'essai à Fossé-V. D'autres essais sont recommandés pour confirmer son application dans une grande variété de types de sols et de conditions climatiques. Une fois le modèle validé, il existe plusieurs applications potentielles d'utilisation. Par exemple, le STP pourrait être utile pour prévoir l'entretien additionnel des routes dû aux surcharges, pour répartir les coûts d'entretien des routes dans des ententes partagées d'utilisation, et comme partie d'une évaluation économique de traitements de stabilisation des routes.

Références

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 1990. Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing. 15th ed. Washington, D.C.
- Barber, V.C.; Odum, E.C.; Patrick, R.W. 1978. The deterioration and reliability of pavements. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. Technical Report S-78-8. 155 p.
- Bradley, A. H. 1996. Trial of a central tire inflation system on thawing forest roads. FERIC, Vancouver, C.-B. Technical Report TR-116. 27 p.
- Bradley, A. H. 1997. The effect of reduced tire inflation pressures on road damage: a literature review. FERIC, Vancouver, C.-B. Special Report SR-123. 37 p.
- Hyster Company 1972. Compaction handbook. Tractor Equipment Operations, Portland, Ore. Fifth edition. 51 p.
- Tire and Rim Association Inc. 1998. 1998 Year book. Copley, Ohio. 418 p.
- Truebe, M.; Evans, G. 1994. Lowell surfacing thickness design test road: Final report. USDA Forest Service, Pacific Northwest Region, Portland, Ore. Report Number FHWA-FLP-94-008. 95 p.
- USDA Forest Service. 1993. Operator DCP field manual: description and application of dynamic cone penetrometer. 10 p.
- Whitcomb, W.G.; Yapp, M.T.; Myers, M. 1990. Aggregate surfacing design guide: Final report. ARE Inc., Engineering Consultants. Contract 53-04H1-8-6230. For the USDA Forest Service, Portland, Ore. 34 p.
- Wilson, R.G. 1996. CSP culvert installation at water crossings on forest access roads. Ontario Ministry of Natural Resources, Northeast Science & Technology. Technical Note TN-013. 24 p.

Remerciements

L'auteur désire remercier l'Alberta Department of Forestry, Lands, and Wildlife pour son soutien financier au projet; il aimerait également exprimer sa reconnaissance pour leur contribution aux individus et compagnies dont les noms suivent :

Dave Lloyd, Ed Lefebvre, Greg Safar, Al Fisher et Phil Cardinal, Alberta-Pacific Forest Industries Inc.; Emery Gorman, Green Country Resource Managers; Ray Vincent, Allen Burnett, Arseny Kuznetsov, Guy Lofstrand, opérateurs de machinerie de construction; Ron St. Jean, Rocklake Enterprises Ltd.; Nini Long, Dan Andersson, Colin Blair, Dick Webb, Dr Kris Kosicki, Mihai Pavel et Eric Amlin, anciennement ou présentement employés de FERIC; Tom Moore, Gary Evans, Mark Truebe et Pete Bolander, USDA Forest Service; Dr Robert Douglas, autrefois de l'Université du Nouveau-Brunswick, et Ken Lyle, Frontier Resource Services Ltd.

ANNEXE I

Gonflage des pneus et charges à l'essieu pour les véhicules circulant sur la route d'essai

Groupe d'essieux	Camions chargés		Charge moyenne sur le groupe d'essieux (t)	Camions non chargés - charge moyenne sur le groupe d'essieux (t)
	Pression moyenne de gonflage des pneus (HP/OP) (kPa)	(psi)		
Essieu directeur (1)	655/640	95/93	5,42	5,42
Essieux moteurs(2)	655/365	95/53	16,67	6,37
Essieux avant le la remorque (3)	655/358	95/52	22,05	7,97
Essieux arrière de la remorque (2)	655/358	95/52	16,00	0,00
Total			60,14 ^a	19,76 ^b

^a MTC.

^b Poids à vide.

Facteur d'équivalence des charges à l'essieu pour les trains-B à 8 essieux d'Alberta-Pacific

	Essieu directeur	Essieux moteurs tandem	Essieux avant triples de remorque	Essieux arrière tandem de remorque tan/axles	Total des ESALs	ESAL par aller-retour	Changement du nombre d'ESALs par aller-retour(%)
Mode 1 – pressions de pneu normales pour voie publique (HP)							
En charge							
Pression (kPa)	655	655	655	655			
Charge (t)	5,4	16,7	22,1	16,0			
Facteur d'équivalence	0,91	2,29	2,53	2,11	7,84		
À vide							
Pression (kPa)	655	655	655	655			
Charge (t)	5,4	6,4	8,0	0,0			
Facteur d'équivalence	0,91	0,31	0,31	0,00	1,53	9,37	
Mode 2 – pressions de pneu optimisées (OP)							
En charge							
Pression (kPa)	640	365	358	358			
Charge (t)	5,4	16,7	22,1	16,0			
Facteur d'équivalence	0,86	0,59	0,62	0,52	2,59		
À vide							
Pression (kPa)	640	365	358	358			
Charge (t)	5,4	6,4	8,0	0,0			
Facteur d'équivalence	0,86	0,08	0,08	0,00	1,02	3,61	(61)

ANNEXE II

Sommaire des propriétés du sol et classification

Lieu de l'échantillon	Limites d'Atterberg		Composition			Système unifié de classification de sols	Classification comme matériaux de forme pour route publique ^a
	Limite de liquidité (%)	Indice de plasticité (%)	Sable (%)	Silt (%)	Argile (%)		
Fossé-V (HP)	21,3	4,0	30	55	15	Silt sableux de faible plasticité	Sous-groupe A-4 Médiocre à mauvais
Surélévation (HP)	21,4	4,7	26	74 ^b	-	Silt de faible plasticité	Sous-groupe A-4 Médiocre à mauvais
Surélévation Compactage(HP)	24,9	9,1	22	51	27	Argile sableuse de faible plasticité	Sous-groupe A-4 Médiocre à mauvais
Surélévation-sur-enracinement (HP)	18,7	2,4	20	67	13	Silt sableux de faible plasticité	Sous-groupe A-4 Médiocre à mauvais
Fossé-V (OP)	18,2	1,5	20	66	14	Silt sableux de faible plasticité	Sous-groupe A-4 Médiocre à mauvais
Surélévation Compactage (OP)	20	2,9	18	68	14	Silt sableux de faible plasticité	Sous-groupe A-4 Médiocre à mauvais

^a D'après l'AASHTO (1990).

^b Teneur de silt et d'argile.

Densité sèche et teneur en eau pour les sections d'essai compactées

Lieu de l'échantillon	Densité sèche				Teneur en eau du sol		
	Avant compactage (g/cc)	Après compactage (g/cc)	Changement (%)	Maximum (g/cc)	Optimum (%)	Naturelle (%)	Surplus par rapport à l'optimum (%)
Avec compactage							
Surélévation (HP)	1,55	1,63	5	1,94	10,8	13,1	2
Surélévation (OP)	1,52	1,56	3	1,87	11,1	13,9	3
Fossé-V (HP)	1,53	1,59	4	1,85	11,3	11,0	(0,3)
Fossé-V (OP)	1,57	1,61	3	1,92	10,9	12,0	1

ANNEXE III

Sommaire du processus de construction d'Alberta-Pacific pour les routes temporaires de classe IV

1. Les arbres dans l'emprise sont abattus sur une largeur maximale de 20 m avec des jetées espacées approximativement de 300 m. Les arbres sont débardés aux jetées et empilés. Les emprises de routes sont plus étroites dans le voisinage des traversées de cours d'eau afin de réduire au minimum le dépôt de sédiments dans le ruisseau. Le façonnage des tiges empilées est effectué quand cela ne dérange pas le processus de construction routière.
2. Une bande de 14 à 18 m de largeur dans l'emprise de route est débarrassée des résidus de coupe, des souches et du terrain de surface à l'aide d'un boteur (normalement de la grosseur d'un D7). Le terrain de surface est empilé juste à l'extérieur de la ligne de fossés pour faciliter la remise en état ultérieure de cette bande.
3. Le boteur établit la ligne centrale du tracé – en maintenant un alignement aussi droit que possible. Si la déclivité sur la ligne centrale dépasse des limites spécifiées, elle est réduite en faisant une coupe dans la pente ou en utilisant des matériaux de remblai provenant des fossés ou des environs. Les règles de base d'Alberta-Pacific spécifient les déclivités maximales suivantes : pente montante soutenue 8 %, pente montante courte 10 %, pente descendante soutenue 10 %, et pente descendante courte 12 %.
4. Les matériaux de surface humides ou autrement inacceptables sont enlevés par le boteur et poussés à l'extérieur de la ligne de fossés. Souvent, seuls les 8 à 10 cm supérieurs de la couche de forme sont trop humides et doivent être enlevés.
5. Des fossés de forme triangulaire sont creusés de chaque côté du tracé décapé. Les matériaux retirés des fossés sont empilés sur la surface de la route pour créer un bombement et/ou une surélévation, en plaçant les matériaux plus humides sous les matériaux plus secs ou plus acceptables. La largeur de la surface de la route après le creusage des fossés est normalement de 7,0 m. Les routes à Fossé-V peuvent être créées par un boteur seul ou en combinaison avec une ou plusieurs excavatrices. Les excavatrices sont utilisées quand une surélévation supplémentaire et/ou des fossés plus profonds sont requis pour faciliter le drainage (p. ex. dans les tourbières).
6. La surface de la route est égalisée et finie à l'aide d'une niveleuse. Une fois terminée, la route à Fossé-V a une surface de roulement de 6,0 m de largeur, un bombement de 5 %, des accotements dont l'inclinaison est de 2 :1, et des fossés de 0,5 m de profondeur.
7. La route est laissée à l'état brut (c.-à-d. avec une surface de terre) parce qu'il n'y a habituellement pas de gravier disponible. Le compactage de la surface est normalement léger et accompli par l'équipement de construction et la niveleuse. Généralement, on n'emploie pas d'équipement de compactage pour la construction de routes d'accès.
8. Enfin, des structures de drainage (pour le drainage transversal et les traversées de cours d'eau) sont installées pour maintenir les schémas de drainage naturels. Les ponceaux sur des routes temporaires sont normalement constitués de tuyaux usagés de 40 ou 60 cm (diamètre intérieur), à parois épaisses.
9. Une fois la route construite, Alberta-Pacific commence habituellement le camionnage immédiatement afin de pouvoir remettre le terrain en état dans les deux ans requis par les règles de base de la compagnie. Cette dernière s'efforce de garder quelques routes non utilisées durant l'hiver pour les laisser durcir – un procédé permettant à la structure de s'assécher et à la pluie ainsi qu'aux cycles d'humidité-séchage de compacter et de renforcer la surface de roulement.