

## Contenu

Introduction .....	1
Pourquoi aurais-je besoin d'un catalogue de design? .....	1
Mise en œuvre : comment élaborer un catalogue? ...	2
Remerciements ..	5
Références .....	6

## Avantages liés à l'utilisation d'un catalogue de design pour les routes forestières

### Résumé

Les constructeurs de routes et le personnel sur le terrain utilisent les catalogues de design pour optimiser l'épaisseur de la couche de granulats selon les conditions de terrain, et ainsi réduire les coûts globaux de construction, augmenter le rendement et abaisser les coûts d'entretien des routes. Un catalogue de design permet d'offrir une gamme de dimensionnement de routes adaptées aux différents niveaux de rendement et de circulation ainsi qu'à divers types de sols de fondation et de granulats.

### Mots clés :

Conception et construction de routes, catalogue de design, dimensionnement, épaisseurs, sol de fondation, couche de base, granulats.

## Auteurs

Glen Légère  
et  
Steve Mercier  
Division de l'Est

## Introduction

Au Canada, peu d'entreprises forestières utilisent des modèles de dimensionnement pour concevoir leurs routes, même si les avantages d'une telle approche peuvent être substantiels. Une route surdimensionnée coûtera beaucoup plus cher, tandis qu'une route sous-dimensionnée risque d'afficher une performance médiocre et des coûts de réhabilitation élevés. De nombreux modèles mathématiques ont été élaborés pour faciliter la préparation de catalogues de design de routes.

Le secteur public utilise depuis des décennies des modèles éprouvés pour élaborer des catalogues de design adaptés à des conditions particulières. L'utilisation d'un catalogue de design peut permettre d'abaisser les coûts globaux de construction des routes de diverses façons : réduction de l'épaisseur de gravier; optimisation de l'utilisation et du transport des ressources en gravier locales; amélioration du rendement des routes; réduction des coûts d'entretien. Les objectifs du présent rapport sont de présenter le concept général du catalogue de design, de décrire les avantages que l'on peut

tirer d'un tel catalogue et de fournir des directives générales sur l'élaboration d'un catalogue adapté aux conditions du chantier.

## Pourquoi aurais-je besoin d'un catalogue de design?

Une trop forte épaisseur de gravier augmente de manière significative les coûts de construction des routes, mais une épaisseur insuffisante peut signifier éventuellement des coûts d'entretien accrus et le ralentissement du transport. Une approche axée sur la conception structurale permet d'optimiser l'épaisseur et le choix du matériau. Elle accélère aussi les processus de conception, d'appel d'offres et d'approbation, augmente l'exactitude des budgets et permet aux entrepreneurs de construire des routes qui répondent aux normes de rendement choisies par l'entreprise forestière, en utilisant les matériaux appropriés.

Le catalogue amène les constructeurs de routes à définir de façon objective l'épaisseur appropriée de chaque type de granulats et ce, en fonction de leurs propriétés des granulats (résistance), des pro-

priétés du sol de fondation, du volume et de la nature du trafic ainsi que du rendement et de la fiabilité que devra afficher la route. Les options proposées dans le catalogue aident le constructeur à faire un choix, par exemple, entre une couche plus mince de granulats de haute qualité et une couche plus épaisse de matériaux de qualité inférieure. Il convient de noter ici que la source de gravier la plus proche peut parfois ne pas être la plus rentable. Le catalogue peut également recommander des options telles que l'utilisation de géosynthétiques, la stabilisation du sol, l'utilisation de radiers et l'installation de fascines.

Le catalogue peut se présenter sous diverses formes comme des graphiques, des tableaux et des chiffriers. Par exemple, le graphique de la figure 1, illustre la différence d'épaisseur requise pour la couche de base si l'on utilise du sable uniforme (SP) et un gravier bien étalé (GW) sur une fondation à faible capacité portante pour différents niveaux de circulation. Dans cet exemple, l'épaisseur requise pour assurer un même rendement après 3000 voyages aller-retour de camions chargés varie de

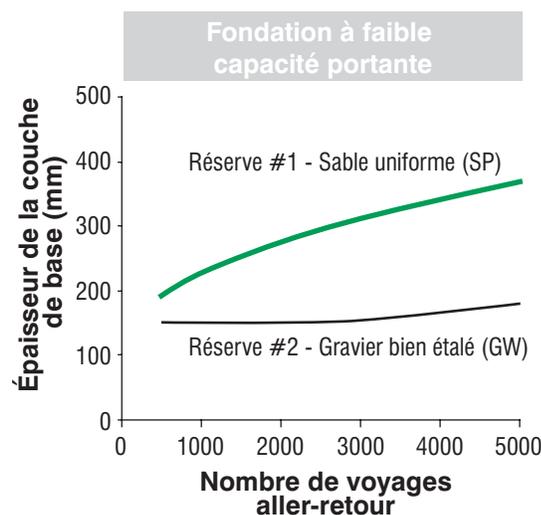
plus de 100 % (300 versus 150 mm). On peut voir que même si le matériau de qualité inférieure (p. ex., SP) ne coûte que 5 \$/m<sup>3</sup> (carrière située près du chantier de construction), il sera quand même avantageux de transporter sur une plus grande distance un matériau de meilleure qualité (p. ex., GW) coûtant 9 \$/m<sup>3</sup>, lequel donnera un rendement équivalent pour un coût de construction inférieur. Des graphiques semblables peuvent être produits pour les diverses combinaisons de matériaux et de distances de transport propres à un chantier donné.

Si l'on considère que l'élaboration d'un catalogue de design type coûte approximativement 30 000 \$, l'entreprise récupérera rapidement son investissement en économisant 6000 m<sup>3</sup> de gravier (à 5 \$/m<sup>3</sup>). Pour une entreprise comme Industries Tembec inc. (division de Kapuskasing), qui transporte 60 000 m<sup>3</sup> de gravier chaque année, le coût d'un catalogue ne représente que 10 % de ce volume. Le coût du catalogue peut également être partagé par plusieurs divisions qui présentent des conditions d'exploitation semblables et être amorti sur quelques années. Une fois le coût du catalogue récupéré, les économies au chapitre des dépenses en gravier se répercuteront directement sur le revenu net. FERIC compte produire un rapport concernant le retour sur l'investissement associé à l'utilisation d'un catalogue de design dans le cadre d'un projet de mise en œuvre qui sera réalisé avec une entreprise membre.

**Mise en œuvre : comment élaborer un catalogue?**

L'élaboration d'un catalogue exige un certain investissement et certains efforts

Figure 1. Comparaison de l'épaisseur de deux couches de base différentes sur une fondation à faible capacité portante à différents niveaux de circulation



**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**

Ce rapport est publié uniquement à titre d'information à l'intention des membres de FERIC. Il ne doit pas être considéré comme une approbation par FERIC d'un produit ou d'un service à l'exclusion d'autres qui pourraient être adéquats.

This publication is also available in English.



pour rassembler de l'information détaillée sur les matériaux disponibles dans les diverses carrières. Comme ces données serviront de point de départ pour les calculs, il est essentiel qu'elles soient fiables et précises. Pour ces raisons, il est préférable que l'élaboration du catalogue soit confiée à un ingénieur en géotechnique ou à un ingénieur routier. La suite de cette section décrit les étapes fondamentales de l'élaboration d'un catalogue de design. FERIC peut également apporter sa contribution en s'assurant qu'il répond bien aux besoins de l'entreprise, et les auteurs se feront un plaisir de fournir de plus amples renseignements.

### Choix d'un modèle

Contrairement aux routes pavées, peu de modèles existent actuellement pour la conception structurale des routes forestières (non pavées). Nous estimons cependant que le programme STP (USDA, 1996) offre l'une des solutions les plus appropriées pour la foresterie du fait qu'il utilise deux couches (c.-à -d., sol de fondation et couche supérieure) et peut tenir compte de l'utilisation de diverses pressions de pneu. La méthode de calcul décrite par l'AASHTO (1993) peut également être employée pour les concepts multicouches (trois couches).

### Détermination du type de route

Les données suivantes sont essentielles pour le calcul de l'épaisseur de granulats avec les divers modèles :

#### Niveaux de circulation

Les niveaux de circulation au cours de la vie utile de la route sont une considération de premier ordre. Même si le volume de bois transporté ou le nombre total de camions donnent une indication des contraintes qui seront imposées à la route, les calculs devraient théoriquement être fondés sur une unité standard. La principale unité utilisée pour prévoir la durée de vie d'une route est le nombre cumulatif de répétitions d'un essieu standard « Équiva-

lent de charge axiale simple » (ECAS) prévues pendant la vie utile de la route. L'unité ECAS se définit comme étant les dommages que peut causer un essieu simple avec roues doubles chargé à 18 000 livres (80 kN ou 8164 kg). De nombreuses équations ont été élaborées pour calculer les valeurs ECAS selon différentes configurations d'essieux et pressions de pneu (Copstead, 1991; Haas, 1997; USDA, 1996).

### Viabilité

Avec tous les modèles, les utilisateurs doivent définir à quel moment des travaux de reconstruction ou d'entretien majeurs (viabilité terminale) seront nécessaires. Une route non pavée sera considérée comme dégradée lorsqu'une déformation permanente (orniérage) apparaîtra; la présence d'une telle dégradation indique une baisse de la carrossabilité (c.-à -d., si la surface de la route demeure utilisable). La présence d'ornières de 50 mm de profondeur est généralement considérée comme étant la limite (viabilité terminale) pour les routes *primaires* non pavées (AASHTO, 1993; USDA, 1996). Cependant, des ornières plus profondes (de 3 à 4 po [de 75 à 100 mm]) peuvent être acceptables pour les routes *secondaires* et *tertiaires*. Bien que d'autres défauts de surface (nids de poule, etc.) puissent également déterminer la viabilité terminale d'une route, ils ne sont généralement pas considérés dans les modèles de conception.

De façon générale, la couche de base sert à répartir les charges appliquées et à diminuer les contraintes imposées au sol de fondation pour empêcher sa déformation et limiter l'orniérage. Malheureusement, les modèles actuels ne tiennent pas compte de l'incidence de l'entretien de routine dans les équations employées pour modéliser les surfaces de granulats. Or, l'optimisation du nivelage permet d'augmenter le nombre de passages de véhicules avant que les ornières ne commencent à se former et fournit ainsi un niveau de *fiabilité* plus élevé pendant la durée de vie théorique de la route.

## Fiabilité

La fiabilité d'un design de route est la probabilité que la route donnera le rendement prévu au long de sa vie théorique, malgré la variabilité des données d'entrée et des conditions environnementales. Pour simplifier les choses et s'assurer que la route sera bien construite, même dans les zones où les conditions sont les plus difficiles les concepteurs devraient généralement réaliser leurs calculs en fonction du terrain le plus faible le long du tracé de la route (p. ex., sols de fondation mal drainés) plutôt qu'en fonction des conditions moyennes. Si les conditions changent considérablement, il faut alors envisager recourir à différents designs pour les sections de routes plus faibles, optimisant donc le facteur de sécurité global et réduisant le coût d'ensemble.

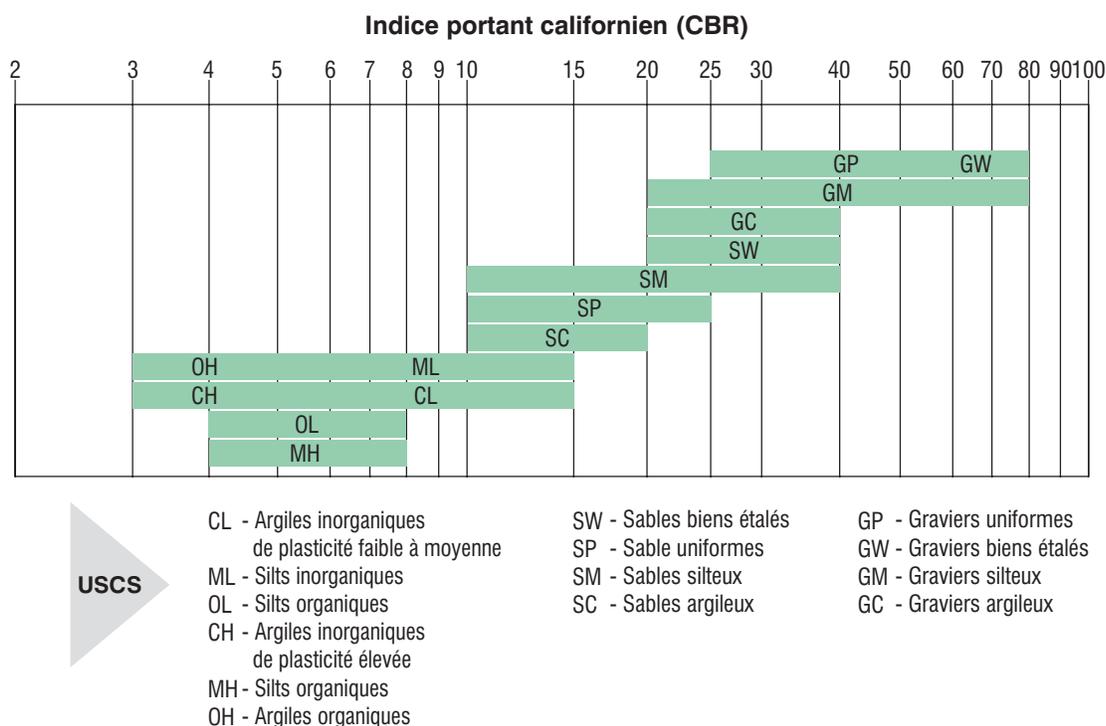
## Caractérisation des sols de fondation

La capacité des sols de fondation à supporter les charges transmises par la couche de granulats est un facteur important lors-

que vient le temps de déterminer l'épaisseur de granulats à utiliser. Il faut donc bien étudier l'état du sol de fondation en procédant à un échantillonnage représentatif de la zone. La résistance du sol de fondation dépend des caractéristiques du sol (étroitement liées à sa classification), de sa densité, de sa teneur en eau et de sa plasticité. L'indice portant californien (CBR) est une mesure largement utilisée. Un excellent sol de fondation a une valeur CBR d'environ 30; un sol de fondation médiocre (dans lequel vos bottes s'enfonceront) affiche une valeur CBR <1. Une surface de roulement faite de granulats concassés bien compactés présente une valeur CBR >80, même à l'état saturé. La figure 2 présente une plage de valeurs CBR pour différentes catégories de sols.

La valeur CBR du sol de fondation peut être déterminée par des essais en laboratoire ou des mesures sur le terrain. On préférera cependant utiliser des valeurs mesurées sur le terrain pendant la période de l'année où les véhicules utiliseront la route. Pour mesurer la résistance du sol de fondation *in situ*, l'USDA (1996) recom-

Figure 2. Valeurs CBR pour différents types de sols, tels que définis dans le système de classification unifié des sols (adapté de l'APAI, 2003).



mande d'utiliser des instruments tels que le pénétromètre à cône dynamique (PCD; MDOT, 1993) et l'impactomètre Clegg (Clegg, 1985). Il faut aussi prélever des échantillons de sol représentatifs de tous les secteurs et de tous les types de sols de fondation rencontrés le long du tracé de la route et les classer en utilisant le système de classification unifié des sols (USCS; ASTM, 2000; Hamilton, 2000) ou un autre système reconnu. La teneur en eau doit également être documentée, particulièrement pour les sols cohérents (argiles et silts), car elle peut influencer de manière significative la résistance du sol. Le sol de fondation doit être bien drainé par l'aménagement de ponceaux transversaux et de fossés appropriés. Il faut aussi éviter d'aménager la route sur des basses terres où la nappe phréatique est élevée.

### **Caractérisation des sources de granulats**

Le catalogue doit indiquer les sites où l'on peut s'approvisionner en granulats, la quantité ainsi que la classification et les propriétés mécaniques (c.-à-d., résistance) des matériaux disponibles dans ces sites. La résistance de la couche de base dépend principalement de la granulométrie des granulats, de la forme des particules, de la qualité des granulats, du compactage et (à un moindre degré) de la teneur en eau et de la plasticité du matériau (USDA, 1996). La résistance peut être déterminée en laboratoire. Les méthodes décrites ci-devant pour établir *in situ* la résistance des sols de fondation peuvent également être employées, bien que chaque instrument ait ses limites selon le type de sol et comparativement aux essais en laboratoire. Lorsqu'on produit un matériau concassé, il faut préciser les caractéristiques que devront présenter les granulats (Légère et Mercier, 2003). Si le matériau de la couche de base (la couche structurale) est également employé dans la couche d'usure, il faut alors augmenter l'épaisseur de cette dernière pour compenser la perte et la détérioration des granulats (c.-à-d.,

usure). Dans ce cas, l'épaisseur de la couche de base doit correspondre à au moins deux fois la dimension maximale des particules. Le bombement de la route (habituellement de 4 à 6 %) doit également être maintenu pour assurer l'évacuation de l'eau.

### **Construisez votre catalogue**

Le catalogue peut se présenter sous la forme d'une série de graphiques pour différents sols de fondation ou différentes régions (figure 1), d'une série de tableaux ou même d'un chiffrier. Les entrées (p. ex., circulation, viabilité, fiabilité) doivent être passées en revue par des personnes ayant de l'expérience en voirie qui vérifieront que les paramètres choisis correspondent aux besoins du chantier. L'objectif est de fournir un outil d'aide à la décision facile à utiliser et conçu en fonction des besoins de l'entreprise et des conditions d'exploitation. Les données employées pour produire le catalogue s'accumuleront avec le temps, et le catalogue deviendra plus précis après la validation des résultats préliminaires sur le terrain. En outre, si l'on veut améliorer la qualité du catalogue, il faudra contrôler le rendement, le coût de construction et le coût d'entretien des routes conçues à l'aide de celui-ci. Il faut aussi recueillir, sur le terrain, des données sur les sols et les conditions routières (p. ex., humidité, problèmes de drainage, orniérage, niveau de détérioration) pendant la période de l'année où les véhicules utilisent la route. Finalement, on peut calculer le retour sur l'investissement pour le catalogue en comptabilisant les coûts de production et de mise en application du catalogue et les économies découlant de son utilisation.

### **Remerciements**

Les auteurs tiennent à remercier Mark Stanley qui a participé à l'élaboration, à la mise en œuvre et à la validation d'un catalogue de design préparé par FERIC pour les divisions du nord-est de l'Ontario des Industries Tembec inc.

## Références

- AASHTO. AASHTO guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1993, 322 p.
- APAI. Asphalt paving design guide. Asphalt Paving Association of Iowa, West Des Moines, IA, 2003, 125 p.
- ASTM. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA. Standard D-2487-00, 2000, 12 p.
- Clegg, B., Clegg impact test guidelines. The University of Western Australia, Dept. of Civil Engineering, Nedlands, Australie, 1985, 25 p.
- Copstead, R., Using the region 6 surface thickness program to predict some effects of tire pressures on roads. USDA Forest Service, San Dimas Technology and Development Center, Pacific Northwest Research Station, San Dimas, CA, 1991, 4 p.
- Haas, R., Guide de conception et de gestion des chaussées. Association des transports du Canada, 1997, Ottawa, ON, 1997, 389 p.
- Hamilton, P., Identification des sols à utiliser pour la construction de routes: conseil pratiques. Inst. can. rech. génie for. (FERIC), Pointe-Claire, QC, Avantage 1(11), 2000, 8 p.
- Légère, G.; Mercier, S., Amélioration de la performance des routes par des spécifications appropriées pour les granulats de la couche d'usure. Inst. can. rech. génie for. (FERIC), Pointe-Claire, QC, Avantage 4(13), 2003, 6 p.
- MDOT., Users guide for the dynamic cone penetrometer. Minnesota Department of Transportation, Office of Materials Research and Engineering, Physical Research Section, St-Paul, MN, 1993, 13 p.
- USDA., Earth and aggregate surfacing design guide for low volume roads. USDA Forest Service, Engineering Staff, Washington, DC, 1996, 301 p.