ROUTES ET TRANSPORTS

Vol. XIV - No 1 Hiver 1984



RECU
CENTRE DE DOCUMENTATION
AVR 25 1984
TRANSPORTS QUÉBEC

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
MIN AFF CULTURELLES
CE DOSSIER DEVRA ÊTRE RETOURNÉ AU
DÉPÔT CENTRALISÉ DE DOCUMENTS SEMI-ACTIFS
2750, DALTON
STE-FOY
QUÉ. G1P 3S4
LOCALISATION
60227

Publié

u transport et des routes inc.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
Pierre Michaud, Sous-Ministre
700 est, St-Cyrille
Québec QC
G1R 5A9

DU NOUVEAU À L'HORIZON...

HEWITT est maintenant le distributeur
au Québec des produits DYNAPAC.



Oui, les fameux produits DYNAPAC sont maintenant disponibles chez votre distributeur HEWITT dont, entre autres, les rouleaux compacteurs et la reprofileuse DYNAPAC.
En vous procurant une de ces machines chez HEWITT, vous profitez de la durabilité et de la fiabilité DYNAPAC, alliées à la réputation d'excellence du service HEWITT.

HEWITT ÉQUIPEMENT LIMITÉE
MONTRÉAL — VAL-D'OR — HULL — QUÉBEC
CHICOUTIMI — SEPT-ÎLES

Hewitt Distributeur DYNAPAC

SOMMAIRE

Directeur de la revue

Karsten Baass, ing.

Administrateur délégué
Richard Vézina, ing.

Directeur adjoint
Philippe Manseau, ing.

Comité de rédaction

Claude Archambault, ing., Karsten Baass, ing., Robert Chapleau, ing., Serge Lecours, M.D., Richard Vézina, ing.

Comité de publication

Karsten Baass, ing., Michel Aubertin, ing., Françoise Grambin, ing., Jacques Vuille, ing., Marc-Antoine Laforte, ing., Jacques Roy, ing., Gérard Tessier, ing., Richard Vézina, ing.

Comité «Lu pour vous»

Pierre La Fontaine, ing., Pierre-Claude Aïtcin, ing., Pierre Bouvier, ing., Réjean Denoncourt, ing., Bruno Gauthier, ing., Christian Lardinois, ing., G-Robert Tessier, ing.

Comité des nouvelles

Karsten Baass, ing., Myriane Baril, ing., René Donais, ing., Jacques Roy, ing.

Orientation

Publiée quatre fois l'an, la revue ROUTES ET TRANSPORTS s'adresse à tous ceux intéressés par le domaine du transport, tant professionnels que profanes. Sa liste de tirage contient les noms de tous les membres de l'Association Québécoise du Transport et des Routes, des représentants des autorités gouvernementales et para-gouvernementales ainsi que des bibliothèques, des institutions d'enseignement et des revues spécialisées.

Les opinions exprimées dans la revue ROUTES ET TRANSPORTS n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions de l'Association Québécoise du Transport et des Routes.

Tous les articles de ROUTES ET TRANSPORTS peuvent être reproduits sans autorisation, à condition d'en mentionner la source et de faire parvenir un exemplaire de la publication au secrétaire de l'Association Québécoise du Transport et des Routes.

Abonnement

Les membres en règle de l'A.Q.T.R. reçoivent gratuitement ROUTES ET TRANSPORTS. L'abonnement annuel est de 15,00 $ pour le Canada et les É.U.A. et de 20,00 $ pour les autres pays. Les anciens numéros disponibles sont vendus au prix de 5,00 $ chacun. Prière de s'adresser au secrétariat.

Éditeur

Le directeur général de l'A.Q.T.R.,
6290 Périnault, Bureau 103,
Montréal, H4K 1K5

Port de retour garanti

Photo-composition

Composition Orléans Inc.
795 Des Glacis
Carré d'Youville
Québec, P.Q. G1R 3R1

Impression

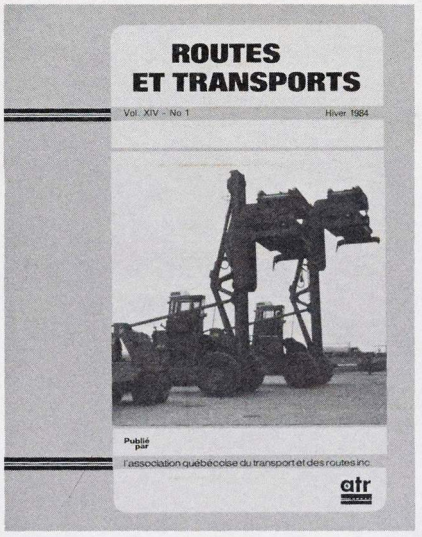
Publications REF
1751 Richardson, Suite 100
Montréal, Qué.

Indexée par R.A.D.A.R.

Dépôt légal - Premier trimestre 1984
Bibliothèque nationale du Québec

ISSN 0319-3780

COURRIER DE LA 2e CLASSE,
Enregistrement n° 5901



En page couverture

Les chaussées des terminaux portuaires requièrent des techniques de dimensionnement bien particulières.

Éditorial 2

Recommandations aux auteurs 3

Nouvelles

Compte rendu du colloque sur les voies réservées 4

Étude

Évaluation économique du pavage de chemins de gravier à faible volume de circulation
RONALD RICHARD, ing. 7

Recherches

Utilisation du graphisme couleur pour l'amélioration interactive de parcours
GUY LAPALME, ing., M. CORMIER, analyste 16

Détermination de la visibilité sur le profil en long d'une route
K.G. BAASS, ing., M. NOËL, ing. 21

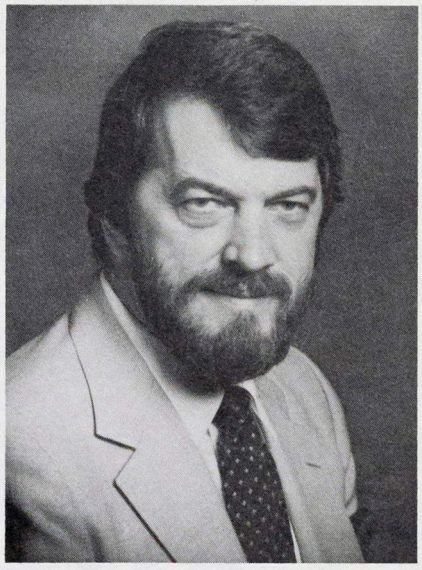
Synthèse

Problèmes de conception des chaussées des ports à conteneurs
J. HODE KEYSER, ing., A. GUEDEHOUSSOU, ing. 26

Lu pour vous 33

ÉDITORIAL

LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT EN TRANSPORT AU QUÉBEC



JEAN-CLAUDE THERRIEN, ing.
Président de l'A.Q.T.R.

Les 28 et 29 novembre 1983 avait lieu à Montréal un colloque-consultation sur la recherche et le développement en transport (R-DT) au Québec. Faisant suite à la publication par le ministère des Transports du document « Les voies de l'avenir » en mai de la même année, ce colloque constituait la dernière étape de consultation sur ce sujet par le gouvernement du Québec, avant qu'il ne passe à l'action.

Le tout-Québec du transport y avait été convié par l'un ou l'autre des trois ministres (Transports, Industrie-Commerce-Tourisme, Sciences-Technologie), et y était effectivement très bien représenté. Il alla de soi que l'AQTR y fut aussi, après en avoir saisi son comité de la Recherche au cours de l'été (encore une fois) et avoir présenté un mémoire sur le sujet.

Au terme d'une journée entière de travail en ateliers et en plénière, les ministres présents y allèrent de l'annonce d'une foule de projets et d'intentions, répondant ainsi presque point par point aux recommandations du Groupe de travail de « Les voies de l'avenir ».

Ces promesses d'interventions au niveau des ressources humaines, matérielles ou financières affectées à la R-DT furent, nous a-t-il semblé, très bien reçues des participants. Qu'il me soit permis cependant d'en retenir trois pour commentaires, toutes trois originant de la bouche du ministre des Transports.

- création d'une Direction de la R-D au MTQ
- allocation de 1,5 % du budget du MTQ à la R-D
- création du Conseil québécois de la R-DT

La Direction de la R-D au MTQ aura pour mandat de concevoir, implanter, réaliser et gérer la politique de R-D du Ministère, de même que de soutenir et favoriser l'excellence en matière de R-DT au Québec. Une telle direction est attendue depuis longtemps puisqu'elle est essentielle à toute démarche du Ministère dans ce domaine. Elle n'en est pas moins emballante mais aussi très exigeante : ses responsables devront assumer un leadership de tous les instants, et être constamment à l'écoute des besoins et à l'affût du développement des connaissances dans le domaine tant à l'échelle locale qu'internationale. L'AQTR ayant été un peu à l'origine de cette prise de conscience face à la recherche en transport il y a quatre ou cinq ans, elle se sent moralement impliquée dans ce défi et de ce fait, la future Direction de la R-D au MTQ peut déjà compter sur son étroite collaboration. Une seule ombre au tableau cependant : nonobstant les recommandations du Groupe de travail, il semblerait que cette Direction (relevant du Sous-ministre) sera installée à Québec, près des politiciens et des preneurs de décision... mais loin des grands courants et des intervenants majeurs, n'en déplaise à nos bons amis de Québec.

En créant la Direction R-D, le Ministère a eu l'heureuse (!) idée de lui donner des moyens : les fonds consacrés à la recherche au MTQ passeront de 0,2 % du budget total du Ministère en 1983 à 1,5 % en 1988. Voilà qui est bien et qui commence à ressembler un peu plus à ce qui se fait dans les grandes entreprises ! Imaginez : en chiffre absolus, les quelque 3 M $ de 1983 se transformeront en 25 M $ ou plus en 1988. Il est à espérer cependant que ce ne soit pas là l'occasion de grossir les rangs de la fonction publique ! Cela a été dit presqu'unanimement au colloque-consultation — et nous sommes aussi pleinement d'accord à l'AQTR —: dans sa politique, le Gouvernement devra y insérer une volonté du **faire faire** plutôt que du faire. Il existe un potentiel humain et matériel considérable en dehors du MTQ, apte à la recherche en transport, que ce soit dans les universités, les centres de recherche, les laboratoires, les cabinets-conseils, les centres d'essais, les associations, les industries et autres. Une équipe relativement restreinte peut adéquatement concevoir, implanter et gérer une saine politique d'impartition en matière d'exécution des activités de recherche dans les divers milieux concernés et habilités.

Enfin, venons-en au troisième volet, soit le Conseil québécois de la recherche et du développement en transport. Devant être créé sous l'initiative du ministère des Transports après avis reçu du Groupe de travail, ce Conseil jouira d'une entière autonomie de direction par rapport au MTQ. Il communiquera des avis et conseils au gouvernement du Québec sur toute question relative à la R-DT; il jouera le rôle de « market place » au lieu de concertation et de coordination de tous les interlocuteurs concernés par la R-DT; enfin, il regroupera et diffusera l'information concernant la R-DT et ses sources de financement. De par sa définition et ses objectifs, l'AQTR se devra non seulement d'y être, mais d'y jouer un rôle des plus actifs. Ici encore, qu'il nous soit permis d'exprimer un voeu : que le Ministre ne tarde pas à mettre sur pied ce Conseil. Dans le quotidien rempli de dossiers plus urgents et plus prioritaires les uns que les autres, il serait facile de négliger un tel projet, dont les retombées ne se mesureront qu'à long terme. Cependant, il serait malheureux de laisser s'éteindre des ardeurs qu'on a mis trois ou quatre ans à mobiliser sur la R-DT au Québec; en outre, l'existence et le bon fonctionnement de ce Conseil est un intrant majeur, sinon essentiel, à l'efficacité de la nouvelle Direction R-D au ministère des Transports.

En terminant (et aussi pour commencer), qu'il nous soit permis de poser un premier jalon dans le sens de l'action : la Direction R-D aura besoin, pour établir et faire connaître sa politique, et aussi pour diffuser les résultats de recherches, d'un médium écrit de communication. Ce médium devra être bien établi et atteindre facilement le milieu; il devra faire de la R-DT non pas un sujet unique, mais un fleuron qui s'insère dans la préoccupation globale besoin-recherche-développement-application-besoin.

Ce médium, pourquoi ce ne serait pas... ROUTES ET TRANSPORTS !

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

La revue ROUTES ET TRANSPORTS publie des articles présentant un intérêt dans le domaine des transports, soit le transport des personnes et des marchandises, les techniques de circulation et les infrastructures de transport, et ceci aussi bien dans les domaines du transport terrestre que du transport maritime et aérien. Les contributions pourront prendre la forme d'articles de recherche fondamentale ou appliquée, de synthèse bibliographique, de notes techniques ou de discussions. Les textes soumis devront être rédigés en français et contenir un résumé en français et en anglais.

Généralités: Le manuscrit sera soumis en trois exemplaires au directeur de la revue. Chaque partie du manuscrit sera dactylographiée en double interligne sur papier de dimensions courantes (215 X 280 mm), avec des marges de 35 mm. Aucun manuscrit ne devra excéder 25 pages dactylographiées, recto seulement. Chaque page du manuscrit devra être numérotée, en commençant par la page titre. Les unités de mesure et les abréviations utilisées seront conformes au système international (SI). De plus, les auteurs s'assureront que leurs manuscrits, ainsi que les illustrations qui les accompagnent, sont conformes aux dispositions suivantes.

La page titre: Elle contiendra le titre, le nom des auteurs ainsi que de courtes notes bibliographiques (titres et affiliations), leur adresse et leur numéro de téléphone. Le titre devra permettre d'identifier rapidement le sujet de l'article et ne dépassera pas 16 mots.

Le résumé: Un résumé, n'excédant pas 200 mots, devra présenter les principaux objectifs de l'étude, résumer la méthodologie et les résultats, et énoncer les principales conclusions. Aucune référence bibliographique ne sera mentionnée dans le résumé. Le résumé devra être produit en français et en anglais et ne contiendra qu'un seul paragraphe.

Les notes infrapaginales: Les notes infrapaginales ne sont pas permises.

Annexes: L'utilisation d'annexes est à éviter.

L'introduction: L'introduction fournira suffisamment d'informations pour permettre au lecteur de comprendre et d'évaluer les résultats de l'étude présentée. Les principales conclusions seront présentées à la fin de l'introduction.

Les tableaux: Les tableaux seront numérotés en chiffres arabes et présentés sur des feuilles individuelles; ils porteront un court titre au haut du tableau et devront être mentionnés et expliqués dans le texte. Les titres des colonnes et des indications seront brefs. Le nombre de tableaux devra être réduit au minimum.

Illustrations et figures: Les figures et les illustrations seront numérotées en chiffres arabes et seront mentionnées dans le texte. Tous les termes, abréviations ou symboles qui y sont contenus devront correspondre à ceux du texte. Les dessins seront faits à l'encre de Chine sur un papier convenable. Le titre, placé au bas, sera clairement lisible et concis. De préférence, les figures seront de 2 à 4 fois plus grandes que la dimension prévue pour la publication. Les lettres seront donc assez grandes pour rester lisibles après réduction. Les épreuves de photographies seront tirées sur papier glacé et devront être fortement contrastées.

Équations et formules: Les équations et formules seront clairement établies et dactylographiées. Les numéros d'identification seront placées entre parenthèses à l'alignement de la marge de droite du texte. Les auteurs s'assureront de l'uniformité et de la lisibilité des symboles des abréviations et des termes techniques qu'ils utilisent. Il convient également de distinguer clairement entre 0 et zéro, l et 1, X et χ, B et β, K et κ, n et η, u et μ, p et ϱ et w et ω

Référence bibliographique: À l'intérieur du texte, les références seront indiquées par le nom de leur auteur et la date de parution, selon le système Harvard.
Un exemple suit:
Gartner (1972), Gazis (1974) et Kelson et al. (1980) ont développé des algorithmes qui permettent de...

Si l'article a été écrit par plusieurs auteurs, on pourra citer les noms au complet ou utiliser l'expression «et al». Lorsqu'il y a plusieurs références du même auteur de la même année, on les différenciera par des lettres minuscules (1975 a,b,c,) ou s'il y a plusieurs références à des années différentes du même auteur (1969, 1972).

À la fin du texte la liste des références sera présentée par ordre alphabétique d'auteur.

Dans le cas d'un livre:
GAZIS, D.C. (1974) Traffic Science. John Wiley & Sons, New York.

Dans le cas d'un rapport:
KELSON, M.D. et al. (1980) Optimal Signal Timing for Arterial Signal Systems. Vol 1: MAXBAND summary report. Report FHWA/RD-80/083. Federal Highway Administration, Wash. D.C. 230 pages.

Et dans le cas d'un article:
GARTNER, N. H. (1972) Constraining Relations among Offsets in Synchronized Signal Networks. Transportation Science. 6,1. Feb. 1972. p. 88-93.

Les articles sous presse pourront être utilisés comme renvoi bibliographique. Les «communications personnelles» ou les articles qui n'auraient pas encore été acceptés pour publication seront mentionnés entre parenthèses dans le texte. L'usage de l'abréviation internationale du titre du périodique est recommandé (voir à ce sujet la liste partielle), mais le titre peut être écrit également au complet. Seules les références utilisées dans le texte devront être incluses dans la liste.

Remerciements: Les remerciements seront rédigés à la troisième personne et se limiteront à des remarques brèves.

Documents protégés par un droit d'auteur: Les auteurs assumeront l'entière responsabilité de l'obtention des permissions de publier les éléments protégés par un droit d'auteur, et utilisés dans le texte. La revue considère que les permissions ont été obtenues des titulaires.

Tirés à part: Un total de 20 tirés à part sera offert à titre gracieux, à l'auteur principal de chacun des articles publiés. Des exemplaires supplémentaires pourront être fournis au prix coûtant, à condition que les auteurs en fassent la demande au moment du dépôt du manuscrit.

Comité Consultatif de rédaction:
Préalablement à toute publication, les articles seront soumis aux lecteurs esternes (3), qui en feront une évaluation pour fin d'acceptation. Le comité d'Édition de la revue ne s'engage en aucune façon à publier tout article qui lui sera proposé. Cependant, l'auteur sera informé des raisons qui ont engendré le refus de son article ou sera informé des remarques et demandes de changements formulées par les lecteurs. Le délai approximatif entre la date de la soumission de l'article et sa publication est d'environ six mois. Lorsque l'article est accepté pour publication les auteurs devront soumettre les originaux des figures et des tableaux en s'assurant que toutes les pages portent au verso leurs noms et le titre de l'article.

Les manuscrits doivent être envoyés en triple exemplaires au président du comité de révision des articles et directeur de la revue:

Karsten Baass, Ph.D.
Génie des transports
École Polytechnique de Montréal
Case Postale 6079 Succ «A»
Montreal H3C 3A7

Liste partielle de quelques abréviations de noms de revues techniques en transport

Engineering Index

Ann Ponts Chaussées	- Annales des Ponts et Chaussées
ARTC Forum	- Association des Routes et Transports du Canada Forum
Can J Civ Eng	- Canadian Journal of Civil Engineering
Highw Eng	- Highway Engineering
IBM J Res Dev	- IBM Journal of Research and Development
IBM Syst J	- IBM Systems Journal
ITE J	- Institute of Transportation Engineers Journal
Oper Res	- Operations Research
Proc Inst Civ Eng (London)	- Proceeding of the Institution of Civil Engineers (London)
Public Roads	- Public Roads
Traffic Eng Control	- Traffic Engineering & Control
Traffic Q	- Traffic Quarterly
Transp Eng J ASCE	- Transportation Engineering Journal of ASCE
Transportation	- Transportation
Transp Plann Technol	- Transportation Planning and Technology
Transp Res Board Spec Rep	- Transportation Research Board Special Report
Transp Res Board Res Rec	- Transportation Research Board Research Record
Transp Res News	- Transportation Research Board News
Transp Res Part A	- Transportation Research Part A
Transp Res Part B	- Transportation Research Part B
Transp Sci	- Transportation Science
TRRL Lab Rep	- Transport and Road Research Laboratory Laboratory Report
TRRL Suppl Rep	- Transport and Road Research Laboratory Supplementary Rep.

COMPTE RENDU DU COLLOQUE SUR LES VOIES RÉSERVÉES

Ce colloque, tenu le 17 janvier 1984 à l'hôtel Méridien à Montréal, était parrainé par la division technique de la circulation de l'AQTR. En tout, une dizaine de conférenciers se sont succédés sur le podium. Les présentations ont porté sur la problématique générale des voies réservées pour autobus et, plus particulièrement, sur les expériences en cours à Laval et à Québec.

Devant un auditoire attentif, M. Nguyen Quang Quy, du ministère des Transports du Québec, a brossé un tableau d'ensemble de la problématique abordée durant ce colloque. Selon M. Quy, le concept des voies réservées s'inscrit dans un cadre plus large, celui d'une politique de traitements préférentiels pour les véhicules publics (autobus, etc.). Éventuellement et sous certaines réserves, les covoitureurs et les taxis collectifs pourraient emprunter les voies destinées aux autobus.

Quatre catégories de mesures

Parmi les mesures envisagées pour améliorer le service offert par les transporteurs urbains, on distingue les quatre grandes catégories suivantes: les mesures physiques, opérationnelles, légales et économiques.

De toute évidence, les voies réservées entrent dans la catégorie des mesures physiques. Avant de prélever une travée de la chaussée publique pour l'usage exclusif des autobus, il convient d'examiner l'état de la circulation. Notamment, en confrontant le nombre des déplacements: ceux effectuées en auto et ceux en autobus. Quand, sur une artère donnée, le nombre d'usagers qui se déplacent en autobus s'avère égal ou supérieur à celui des automobilistes empruntant une voie simple, on peut alors sérieusement envisager l'implantation d'une voie réservée.

Ce critère constitue un point de repère intéressant et, dans une perspective d'optimisation des infrastructures routières, il procure un argument de poids aux spécialistes et techniciens du transport.

Le principe de la voie exclusive se justifiant, une décision pourra être prise. Plusieurs options s'offriront aux intervenants en transport: voie réservée du côté droit de la chaussée, au centre ou à gauche, dans le même sens ou en sens contraire de la circulation. L'option la plus courante veut qu'on réserve la travée de droite, l'autobus se déplaçant dans le sens de la circulation. De cette manière, le véhicule s'arrête toujours en bordure du trottoir, ce qui minimise les risques d'accidents pour l'usager. La situation serait toute autre si l'autobus s'arrêtait au beau milieu de la rue. Même avec la présence d'un quai de débarquement, l'usager devrait traverser la rue et encourir un risque accru. Par ailleurs, l'option «voie de rive» présente un léger inconvénient: l'emprise pour les autobus n'étant souvent indiquée que par une signalisation sommaire (simplement banalisée), on constate qu'un certain nombre d'automobilistes s'engagent illégalement dans la voie réservée.

Malgré ces petits accrocs, l'implantation des voies exclusives présente des avantages certains. À Québec, par exemple, où une telle mesure est en vigueur, on constate une réduction de 10% du temps de déplacement dans le tracé de la Côte d'Abraham. Sur le pont Champlain, là où la topographie est moins tortueuse, le temps de parcours des autobus a été diminué de 26% le matin (gain de 4,5 minutes) et de 44% le soir (gain de 11,9 minutes). Par ailleurs, dans les deux cas, l'achalandage a augmenté de façon appréciable. Huit mois seulement après l'instauration de la voie réservée sur le pont Champlain, le transit des personnes doublait; selon les prévisions du défunt COTREM, un tel phénomène aurait dû se produire au bout de cinq ans d'opération.

Toutefois, et comme l'ont fait observer de nombreux participants au colloque, les autorités politiques, en particulier celles relevant du palier municipal, se montrent plutôt sceptiques devant ces succès. Une certaine mentalité pro-automobile et la difficulté de démontrer en termes simples, de façon évidente, les avantages économiques des voies réservées sont deux facteurs freinant ce genre d'innovations. Paradoxalement, la formule pourra souffrir de ses propres succès. L'augmentation de l'achalandage suscitée par les voies réservées inquiète les politiciens, ceux-ci craignent qu'un tel phénomène génère un déficit encore plus grand au chapitre des dépenses d'exploitation. Devant cette crainte, les spécialistes en transport présents au colloque avouent avoir quelque mal à rassurer et convaincre les décideurs politiques.

Figure 1 PANNEAU DE PRÉ-SIGNALISATION INDIQUANT UNE VOIE TEMPORAIRE RÉSERVÉE DANS LE MÊME SENS QUE LA CIRCULATION NORMALE

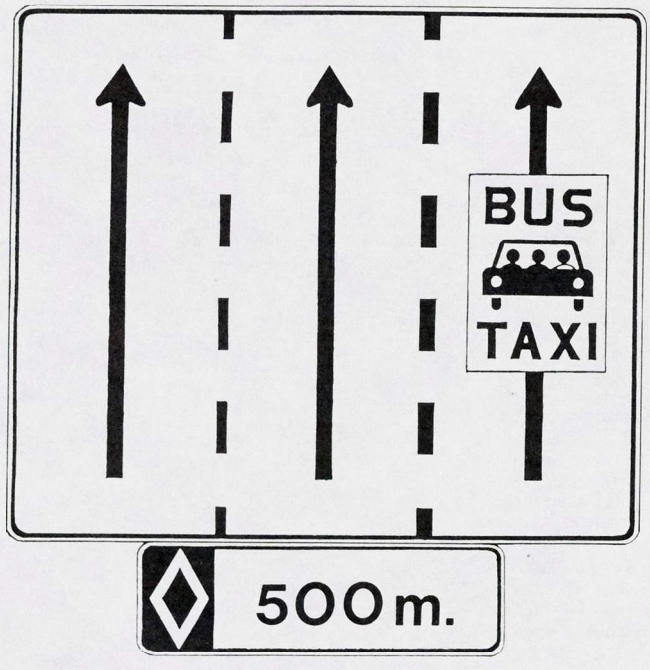


Figure 2 PANNEAU DE PRÉ-SIGNALISATION INDIQUANT UNE VOIE PERMANENTE RÉSERVÉE DANS LE MÊME SENS QUE LA CIRCULATION NORMALE

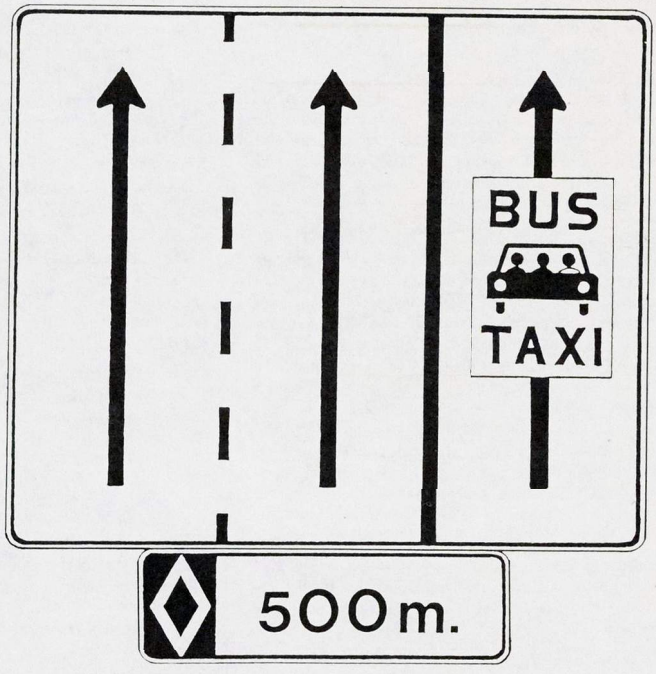
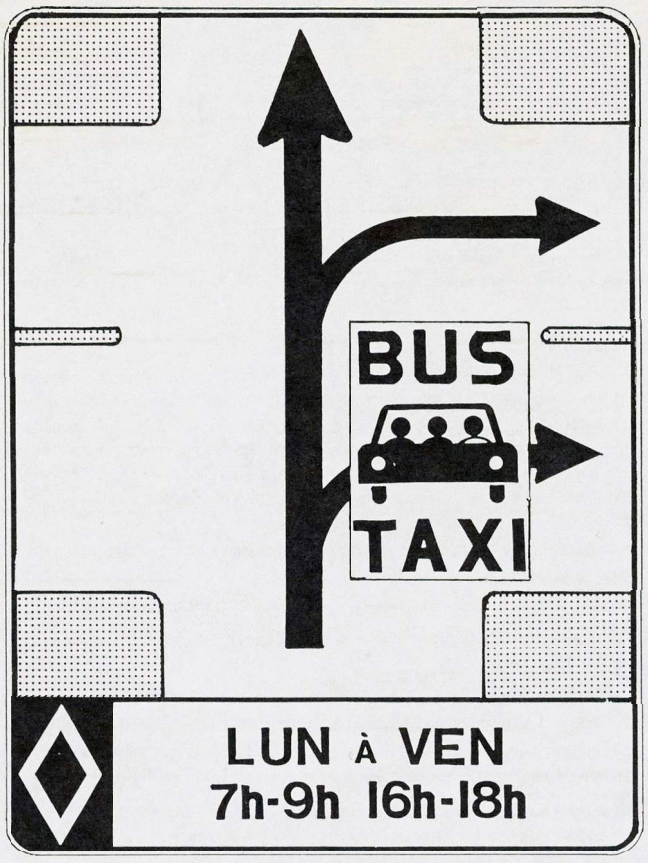


Figure 3 PANNEAU DE SIGNALISATION EN MILIEU URBAIN INDIQUANT LES RESTRICTIONS SUR LES VOIES TRANSVERSALES (CHAUSSÉE TRANSVERSALE À DEUX VOIES DANS LE MÊME SENS DONT CELLE DE DROITE EST RÉSERVÉE)



Figure 4 PANNEAU À MESSAGE MIXTE INDIQUANT UNE VOIE RÉSERVÉE AUX VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ (VERSION 1) INSTALLÉ AU-DESSUS DE LA VOIE



Autres mesures

Quand la circulation d'autobus s'avère insuffisante pour justifier une voie réservée, d'autres mesures peuvent être prises afin de favoriser le déplacement des véhicules publics. Ainsi, on pourrait songer à des mesures de type opérationnel. Par exemple, en synchronisant les feux de circulation non plus selon la vitesse moyenne des autos mais selon celle des autobus. Ou encore, en introduisant la télécommande des feux de signalisation (comme cela se fait en Europe et à Toronto).

Parmi les mesures légales favorisant la manoeuvre des véhicules publics, on pourrait adopter le virage à droite aux carrefours contrôlés par des feux de circulation. Ceci permettrait de dégager l'aire des arrêts d'autobus qui sont souvent occupés par des autos en attente du feu vert.

Enfin, en ce qui concerne les réformes à saveur économique, mentionnons les rabattements fiscaux pour ceux qui utilisent le transport en commun. En Suède où cette politique est en vigueur, l'automobiliste peut aussi réclamer au fisc une déduction de ses frais de transport, cependant, ce dernier doit prouver qu'il habite en dehors des zones desservies par les transporteurs publics. Dans ce même esprit, les assureurs pourraient consentir aux automobilistes des primes moins élevées sur présentation de la CAM.

Abordant les aspects plus spécifiques des expériences menées à Laval et à Québec, les autres conférenciers ont eux aussi souligné les avantages des voies réservées. De façon générale, il ressort que ces mesures jouissent de la faveur populaire. Les enquêtes menées à Laval et à Québec révèlent que ce genre d'initiatives reçoit l'appui d'environ 80% de la population. L'idée a donc fait son chemin. Il ne lui reste plus qu'à franchir le seuil des mairies.

Avis aux intéressés. Les conférenciers nous ont promis un résumé écrit de leurs interventions. Ces textes seront disponibles à l'AQTR. rt

Jean-Pierre Dagenais

Études de transport
Techniques ferroviaires
Ingénierie
Approvisionnement
Gérance de travaux

Transurb inc.
85, rue Ste-Catherine ouest, Montréal (Qc.) H2X 3P4
Tél.: (514) 287-8730 Télex: 055-60122

TRANSURB

Évaluation économique du pavage de chemins de gravier à faible volume de circulation

Ronald Richard
CONSEIL DU TRÉSOR, QUÉBEC

SOMMAIRE

Le ministère des Transports du Québec assure à lui seul la réhabilitation et l'entretien de plus de 25 000 km de chemins municipaux gravellés à faible volume de circulation. Dans le but d'assurer un service adéquat à la population, à chaque année, plusieurs centaines de km de ces routes sont cédulées pour une réhabilitation majeure, laquelle comporte systématiquement les deux étapes suivantes:

- **reconstruire la structure de la route selon des normes acceptables**
- **poser un revêtement souple**

Les arguments suivants sont toujours invoqués pour justifier la deuxième étape:

- **La protection des investissements déjà engagés;**
- **La réduction des coûts d'entretien (grattage, abat-poussière);**
- **L'obtention d'une meilleure qualité de service aux usagers (réduction des frais d'opération des véhicules)**

Ces arguments sont incontestablement valables, cependant aucune tentative de monnayer ces économies et d'en prouver la justification économique n'avait encore été avancée. Le but du présent article est justement d'examiner dans quelles conditions il est économiquement justifié de poser un revêtement souple sur une route possédant déjà une fondation adéquate.

ABSTRACT

The Quebec ministry of transport is responsible for the upgrading and upkeep of more than 25 000 km of unpaved municipal roads bearing low traffic loads. In view of assuring an adequate service to the population, each year several hundred kilometers of these roads are slated for a major overhaul which systematically comprises the following two steps:

- **Rebuilding of the roadbed to acceptable standards**
- **Paving the structure**

The following reasons are always stated as justification for the second step:

- **Protection of the roadbed investment,**
- **Reduction of maintenance costs (grading, dust control, etc.)**
- **Provision of a better service level to users (reduction of vehicule operating costs)**

These reasons are quite valid, however no attempt to compute the value of these savings and determine their economic feasability is ever undertaken. The purpose of this article is precisely to determine under what condition the paving of a sound roadbed becomes economically feasible.

PROBLÉMATIQUE

Le Québec est doté d'un réseau de chemins municipaux très étendu. Le MTQ à lui seul assure l'entretien de plus de 40,000 km de ce réseau, ce qui exclut en outre la portion à la charge des municipalités. De ce réseau, plus de 60 % possède une surface de roulement en gravier, laquelle proportion varie cependant considérablement d'une région à l'autre, tel qu'illustré au tableau I.

Tableau I: INVENTAIRE DES CHEMINS MUNICIPAUX À L'ENTRETIEN DU MTQ

RÉGION	KM SELON LA SURFACE DE ROULEMENT		TOTAL	% GRAVIER
	Pavé	Gravier		
1	2 276	4 585	6 861	67
2	1 013	1 381	2 394	58
3-1	936	929	1 865	50
3-2	1 853	4 784	6 637	72
4	1 146	2 447	3 593	68
5	540	3 154	3 694	85
6-1	1 485	2 115	3 600	59
6-2	2 385	532	2 917	18
6-3	459	67	526	13
6-4	2 535	360	2 895	12
7	636	892	1 528	58
8	222	3 532	3 754	94
TOTAL	15 486	24 778	40 264	
% moyen	38 %	62 %	100 %	

Ministère des transports du Québec (1980) a

La construction de ces routes remonte dans bon nombre de cas à plusieurs décennies, alors que les exigences étaient beaucoup moindres, et les normes quasi inexistantes. L'infrastructure ainsi que le niveau général de service que procurent ces routes peuvent devenir suffisamment déficients pour qu'une intervention de la part du MTQ devienne souhaitable. Ainsi, à chaque année, on peut constater que les programmes régionaux contiennent des centaines de projets de revêtements de chemins municipaux, la majorité de ces revêtements faisant suite à un renforcement de leur fondation granulaire. Le tableau II constitue un sommaire par région de ces projets, tiré des cahiers du programme 1982-1986. Seuls les projets débutant les deux premières années ont été retenus.

Les interventions proposées ont généralement la forme suivante:

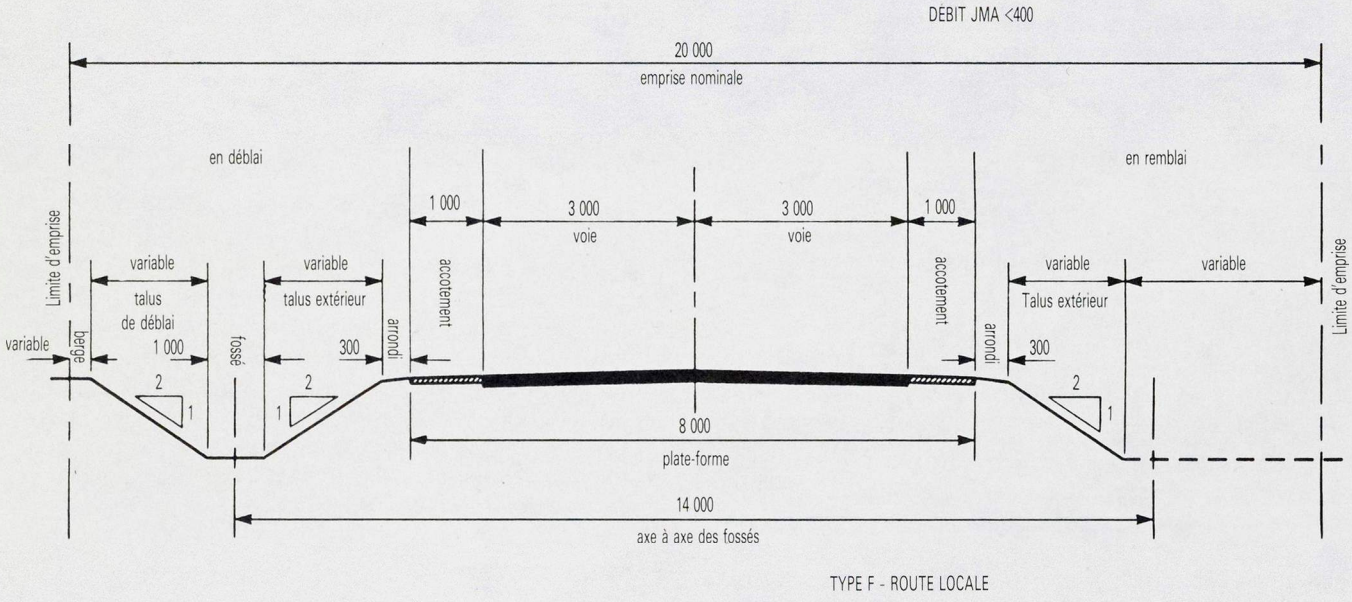
1- Reconstruire selon les normes minimales présentement en vigueur pour ce type de route, soit une section type F (voir fig. 1), ou le plus près possible, compte tenu de contraintes particulières.
2- Poser un revêtement souple sur la route reconstruite, généralement l'année suivante.

Tableau II PROJETS DE REVÊTEMENTS SOUPLES* PLANS RÉGIONAUX 1982-1986 (COÛTS EN DOLLARS DE 1981)

RÉGION	ENROBÉ BITUMINEUX			DOUBLE TRAITEMENT DE SURFACE		
	Coût ($ x 10^3)	km	$/km	Coût ($ x 10^3)	km	$/km
1	7 450	153	49 300	–	–	–
2	4 120	84.2	48 900	–	–	–
3-1	2 330	44.4	52 600	–	–	–
3-2	5 140	155.3	33 100	–	–	–
4	1 950	48.3	40 400	265	12.5	21 200
5	940	23.62	39 800	190	6.57	28 900
6-1	5 410	123.2	43 900	190	10.4	18 300
6-2	925	27.7	33 400	–	–	–
6-3	60	1.3	46 100	–	–	–
6-4	920	24.4	37 700	205	9.5	21 600
7	860	18.1	47 500	–	–	–
8	4 500	110.9	40 600	–	–	–
TOTAL	**34 695**	**814.4**	**42 600**	**850**	**39**	**21 800**

* Se limitent aux projets suivants :
- Réseau non-numéroté (sous-programme 3 volet 1)
- Revêtement souple initial
- Faible volume de circulation (JMA ⩽ 1000)
- Section rurale

Figure 1 PROFIL EN TRAVERS-ROUTES LOCALES EN MILIEU RURAL (TYPE F)



TYPE F - ROUTE LOCALE

NOTE : Le profil en long de ce type de route est sensiblement celui du terrain naturel : on doit éviter le plus possible les coupes dans le roc.

Jusqu'à présent, ces deux solutions ont été considérées indissociables à toute fin utile. Trois arguments principaux sont émis pour justifier cet enchaînement, à savoir :

— La protection des investissements déjà engagés;
— La réduction des coûts d'entretien (élimination des frais de grattage, abat-poussière, etc.);
— L'obtention d'une meilleure qualité de service aux usagers.

Il faut se souvenir que la pose d'un revêtement souple dans de telles circonstances a pour effet de :

— Empêcher une certaine dispersion à long terme des agrégats, ce qui entraîne la nécessité d'un rechargement mineur tous les 5 ou 10 ans.
— Réduire les frais annuels moyens d'entretien.
— Réduire les frais d'opération des véhicules moteurs des usagers.

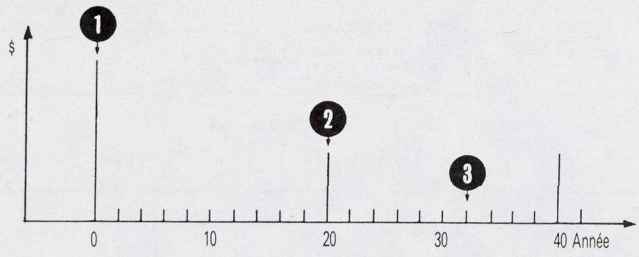
Cependant, aucune étude économique n'a encore été avancée pour vérifier si les économies précitées justifient les investissements requis pour la pose d'un enrobé bitumineux (voir tableau II). Le but du présent document est justement d'examiner ce point, à savoir dans quelles conditions il est économiquement justifié de poser un revêtement souple sur une route possédant déjà une fondation adéquate.

MÉTHODOLOGIE

Éléments à considérer

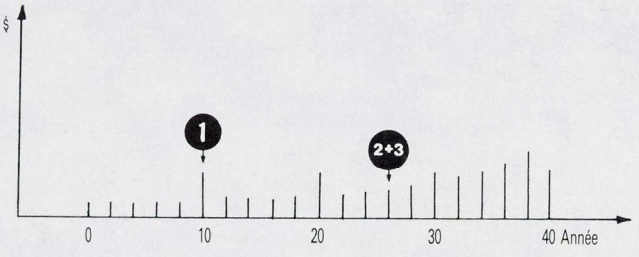
Selon qu'une route est pavée ou non, différents coûts de capitalisation et d'entretien doivent être consentis. Aussi, il faut tenir compte du fait que les usagers d'une route de gravier doivent débourser plus pour leurs déplacements. Ainsi, pour une route qu'on choisirait de paver, l'étalement dans le temps des déboursés pourrait avoir l'allure indiquée à la figure 2a. Par ailleurs, dans les cas d'une route qui demeure en gravier, cet étalement prend plutôt l'allure de la figure 2b.

Figure 2a COÛTS ANNUELS POUR UNE ROUTE PAVÉE



Avec : 1 – coût du pavage initial;
2 - coût d'une intervention périodique majeure;
3 - coûts annuels d'entretien.

Figure 2b COÛTS ANNUELS POUR UNE ROUTE NON PAVÉE



Avec : 1 - coûts de rechargements périodiques de granulats;
2 - coûts annuels d'entretien;
3 - coûts **supplémentaires** annuels aux usagers.

Les coûts de capitalisation du pavage d'une route (ainsi que les coûts de réfections majeures du pavage) peuvent être amortis à long terme en paiements annuels égaux. Exprimés en dollars constants de l'année de base, ils sont représentés par un trait horizontal à la figure 3a. Cette figure tient également compte des bénéfices réalisés suite à la pose d'un revêtement sur une surface de gravier, bénéfices qui résultent à la fois d'une réduction des coûts d'entretien et d'une réduction des coûts d'opération des véhicules des usagers. Si ces bénéfices représentés par la courbe exponentielle de la figure 3a augmentent de cette façon, c'est que le volume de circulation augmente de façon exponentielle dans cet exemple.

À une année « n », ces deux courbes se croisent, et alors, les bénéfices annuels procurés par la pose du pavage atteignent pour la première fois les coûts annuels d'amortissement à long terme. Il est possible de démontrer graphiquement que cette année « n » correspond à l'année optimale pour paver la route. La figure 3a indique en effet qu'un pavage posé avant l'année optimale occasionnerait des pertes chaque année jusqu'à l'année optimale (bénéfices annuels inférieurs aux amortissements), alors qu'un pavage posé après l'année optimale entraînerait une perte de bénéfices.

Une autre façon d'aborder le problème est d'actualiser tous les montants à leur valeur présente pour chaque année de construction envisagée, et de trouver à quelle année la sommation de ces montants est maximisée.

La valeur présente ou bénéfice net (i.e. les bénéfices annuels actualisés moins les coûts actualisés, et ce jusqu'à l'infini) découlant de la pose du pavage faite à chacune des années à venir aura la forme de la courbe présentée à la figure 3b. Cette courbe atteint un maximum à l'année précise où les courbes de la figure 2a se croisent.

Figure 3a ÉTALEMENT DANS LE TEMPS DES BÉNÉFICES ET COÛTS ASSOCIÉS À LA POSE D'UN REVÊTEMENT

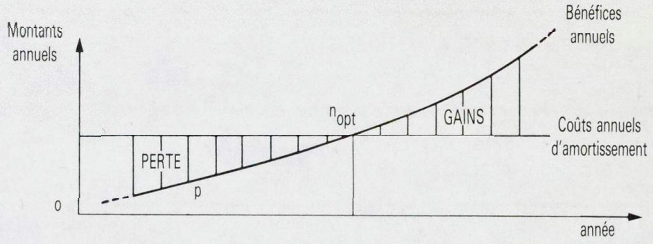
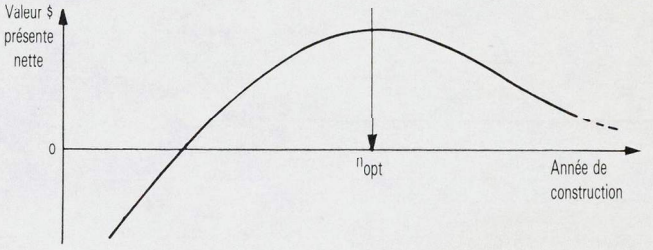


Figure 3b VALEUR PRÉSENTE NETTE (BÉNÉFICES-COÛTS) SELON L'ANNÉE DE POSE D'UN REVÊTEMENT



Il est à noter que dans l'exemple donné l'année optimale ne se présente qu'après un certain délai. Ceci est dû uniquement au fait qu'à cette date le volume de trafic atteint une valeur seuil. L'enjeu n'est donc pas tellement de connaître l'année optimale « n », mais bien le volume de circulation atteint à cette année. Bhandari et Sinha (1979) ont développé les formules de base utilisées aux sections suivantes. Leur document élabore également sur la méthodologie employée.

Formule de base

À la section précédente, il a été établi que l'année optimale de pavage d'une route est celle où les économies annuelles résultant de ce pavage atteignent pour la première fois les coûts d'amortissement à long terme du pavage. Ceci veut donc dire qu'à cette année précise :

Économie aux usagers + économie d'entretien = Amortissement du pavage initial + amortissement des interventions majeures.

Exprimée sous forme mathématique, cette relation devient :

$$V_{opt.} \times 365 \times 0{,}75 \times \Delta U + \Delta E = C \times i + \frac{R \times i}{(1+i)^N - 1}$$

$$\text{d'où : } V_{opt} = \frac{C\,xi + \dfrac{R \times i}{(1+i)^N - 1} - \Delta E}{365 \times 0.75 \times \Delta U} \qquad (A)$$

Avec V
opt. : volume optimal de circulation (J.M.A.)
C : coût initial du pavage / km
R : coût d'une réfection majeure / km
N : années d'intervalle entre chaque réfection majeure
$\triangle E$: variation des coûts annuels d'entretien / km
$\triangle U$: variation des coûts d'opération $ / véh.-km
i : taux d'actualisation

VARIATION DES COÛTS D'OPÉRATION DES VÉHICULES

Facteurs à considérer

De nombreux facteurs influent sur les coûts unitaires d'opération des véhicules routiers. Mentionnons notamment les caractéristiques géométriques de la route, le milieu qu'elle traverse, le taux de congestion de la circulation et le type de surface de roulement.

Pour les besoins de la présente étude, seule la variation des coûts d'opération des véhicules par rapport au type de surface sera étudiée. Les autres facteurs demeureront fixes et seront représentatifs des conditions suivantes:
— route raisonnablement plane et rectiligne;
— milieu rural (rte à 2 voies, section-type F);
— pas de congestion;
— vitesse moyenne du trafic de 65 km / hre.

Coûts unitaires

Nos collègues ontariens (afin de déterminer la rentabilité de divers projets majeurs d'investissements routiers) ont développé un modèle calculant de façon très détaillée tous les éléments de bénéfices et coûts attribuables à un projet. Ce modèle, dénommé le P.P.S. (Priority Programming System) est en usage depuis peu au M.T.Q.

Un des éléments calculés par le P.P.S. est le coût d'opération des véhicules à partir de six différents intrants relatifs à l'opération d'un véhicule (voir tableau III), et des conditions d'opération. En fournissant au modèle les coûts 1981 des divers intrants et en adoptant les conditions d'opération décrites précédemment, on obtient les coûts d'opération (par véh.-km) indiqués au tableau III. La première colonne de ce tableau contient des coûts se rapportant à un pavage lisse. Dans le cas d'un pavage rugueux ou d'une surface de gravier, nous avons appliqué les facteurs de correction proposés par le ministère des Transports et Communications de l'Ontario.

Tableau III VARIATION DES COÛTS (1981) D'OPÉRATION[1] DES VÉHICULES SELON LE TYPE DE SURFACE ROUTIÈRE

	PAVAGE LISSE	PAVAGE RUGUEUX		GRAVIER	
	c/véh-km	facteur de correction	c/véh-km	facteur de correction	c/véh-km
Essence[2]	3,16	1,33	4,20	1,56	4,93
Huile	0,15	–	0,15	–	0,15
Pneus	0,48	1,73	0,83	2,40	1,15
Entretien	1,82	1,25	2,28	1,50	2,73
Pièces	0,91	1,25	1,14	1,50	1,36
Dépréciation[3]	5,31	1,08	5,73	1,17	6,21
	11,83		14,33		16,53

1. Vitesse moyenne: 65 km / hre - Pas de congestion - Automobile de 1360 kg. 6 cylindres
2. Taxe provinciale exclue
3. Partie variable seulement.

Les frais variables d'opération des véhicules, selon la surface de roulement, deviennent donc les suivants:
— 11,83¢ / véh.-km dans le cas d'un pavage lisse
— 14,33¢ / véh.-km dans le cas d'un pavage rugueux
— 16,53¢ / véh.-km dans le cas d'une surface de gravier.

Le pavage rugueux, par rapport au pavage lisse, représente une majoration des coûts d'opération par un facteur de 1,21 (14,33 / 11,83) alors que pour une route de gravier, cette majoration est de 1,40 (16,53 / 11,83).

Pour fins de comparaison, Winfrey (1969) présente globalement ce facteur de majoration pour les routes de gravier. À 65 km / hre (40 mi / hre), le facteur de majoration est de 1,402 pour les automobiles, ce qui corrobore la valeur trouvée de façon détaillée à l'aide du P.P.S. De plus, le tableau en question indique que, mises à part les semi-remorques qui ne circulent généralement pas sur ce genre de route, le facteur moyen de majoration pour les camions est similaire à celui utilisé pour les automobiles.

Période à considérer

Les différents coûts calculés au paraphaphe précédent ne sont valables que pour les mois de l'année où les véhicules sont en contact direct avec la chaussée. Dans le contexte québécois cependant, le type de route secondaire étudié dans le présent document n'est pas déglacé l'hiver, ce qui fait qu'une couche de neige compactée recouvre la chaussée en permanence durant environ trois mois (déc., janv. fév.) et que tout écart dans les frais de roulement entre les différents types de chaussée se trouve éliminé. Pour cette raison, les bénéfices encourus annuellement par les usagers d'une route pavée ne seront comptés que pour 365×0.75 jour par année.

COÛTS DE CAPITALISATION

Revêtement initial

Le revêtement initial comprend la couche de béton bitumineux préparé et posé à chaud, incluant la correction mineure à la surface gravelée immédiatement avant pavage. Le coût d'un renforcement majeur de la fondation, advenant sa nécessité, ne doit pas être inclus ici, pour les raisons mentionnées au tout début du texte.

Plusieurs facteurs sont responsables de fluctuations assez marquées du coût unitaire de la pose d'un revêtement. Les principaux sont:
— l'ampleur du contrat;
— les disparités régionales (climat, éloignement, etc.);
— la distance de transport à partir de l'usine de béton bitumineux;
— le coût du béton bitumineux à l'usine.

Pour 1981, le coût moyen par kilomètre de la pose d'un revêtement en béton bitumineux dans toute la province a été de 42 600 $. Pour les raisons notées précédemment, ce coût varie considérablement d'un projet à l'autre, ce

qui explique les écarts indiqués au tableau II. Pour les besoins de l'étude, on considère que ces coûts varient de 35 000 $ à 50 000 $ par kilomètre.

Intervention majeure

Dans le cas d'une route déjà revêtue en béton bitumineux, une intervention majeure consiste essentiellement dans la pose d'une couche d'usure.

Pour 1981, le coût moyen par kilomètre de couche d'usure sur certains tronçons de chemins municipaux a été de 32 900 $, ce qui représente 75 % de la pose d'un revêtement initial. Vu que le coût de transport du béton bitumineux constitue l'élément majeur de fluctuation des coûts d'un projet, qu'il s'agisse de la pose d'une couche initiale ou d'une couche d'usure, ce rapport de 75 % entre les coûts des deux opérations sera assumé constant dans toute la province.

Fréquence des interventions majeures

Pour le genre de routes considérées ici, soit celles ayant une bonne fondation et ne supportant que des volumes de circulation relativement bas, les périodes entre les interventions majeures sont assez longues, variant en général de 15 à 25 ans. Dans un premier temps, une valeur mitoyenne de 20 ans sera employée dans les calculs.

COÛTS D'ENTRETIEN

Les seuls frais d'entretien comptabilisés ici sont ceux ayant trait à la surface de roulement. Les autres frais d'entretien, tels ceux afférents aux ponceaux, aux garde-fous, au creusage des fossés, etc., ne sont pas considérés étant donné qu'ils ne varient pas selon que la route soit pavée ou non. Il en est de même pour les frais d'entretien d'hiver qui, parce que les routes du type concerné ne sont pas déglacées, demeurent constants, que la route soit pavée ou non.

Routes en gravier

L'entretien des routes en gravier a coûté au Québec en 1981 une moyenne de plus de 1 000 $ par kilomètre. Ce coût couvre le grattage, la pose de l'abat-poussière et le rechargement de granulat. Il peut cependant fluctuer beaucoup d'une route à l'autre dépendant d'une multitude de facteurs dont les principaux sont :

- une granulométrie plus ou moins acceptable de l'agrégat de surface;
- une distance considérable à parcourir d'un projet à l'autre par la niveleuse;
- un volume de circulation comparativement élevé;
- une circulation lourde élevée;
- la présence de nombreuses résidences, ou de cultures maraichères exigeant un contrôle plus serré de la poussière;
- l'état du drainage.

Compte tenu de tous ces facteurs, la plage des coûts d'entretien d'une route de gravier par kilomètre se situera approximativement entre 400 $ et 1 200 $ annuellement.

Routes en béton bitumineux

Les seuls frais à considérer ici sont ceux se produisant entre les interventions majeures, c'est-à-dire entre les couches d'usure. Ces frais vont varier considérablement dans le temps, partant d'une valeur quasi nulle les premières années après la pose d'une couche de revêtement, pour culminer en des montants pouvant atteindre au-delà de 1 000 $ par kilomètre au cours des dernières années précédant la pose d'une nouvelle couche d'usure.

En 1981, ces coûts ont été en moyenne de 800 $ par kilomètre pour le réseau municipal pavé; ce chiffre ne peut cependant pas être comparé directement à celui obtenu pour celles en gravier étant donné que le volume moyen de circulation sur ces dernières est nettement moins élevé que sur les routes pavées.

En relevant les frais d'entretien sur un certain nombre de routes types, il a cependant été possible d'établir des moyennes de coûts d'entretien à long terme. La plage de ces coûts annuels se situerait entre environ 200 $ et 1 000 $ par kilomètre, ce qui inclut l'entretien des accotements.

Écart entre les frais annuels d'entretien

À l'exception de cas très rares, il paraît incontestable que l'entretien d'une route en gravier coûte plus cher qu'une route similaire pavée. Cet écart n'est cependant pas si élevé qu'on semble le croire généralement. Nous avons en effet indiqué plus haut que les coûts moyens d'entretien d'une route de gravier se situaient aux environs de 400 - 1 200 $ annuellement, alors que pour une route pavée ces coûts variaient entre 200 et 1 000 $. En pratique donc, la plage des écarts de frais d'entretien pourrait se situer entre 200 $ et 800 $ par kilomètre annuellement.

FACTEURS ÉCONOMIQUES

Taux d'inflation

On remarquera que dans les paragraphes précédents nous n'avons tenu aucun compte ni du taux d'inflation, ni de la valeur temporelle de l'argent, tous les montants étant exprimés en dollars constants de l'année de base, soit 1981.

La façon la plus simple d'aborder le problème est de poser un taux d'inflation nul, quitte à choisir un taux d'actualisation ajusté en conséquence. C'est l'approche favorisée dans l'étude présente.

Il est à noter que les résultats obtenus dans les sections qui suivent avec des valeurs calculées en 1981 seront toujours valables dans le futur, à moins qu'il ne se produise des écarts très notables entre les taux d'inflation des différents items de coûts et bénéfices pris en considération.

Taux d'actualisation

Le taux d'actualisation tel que nous allons l'employer (c'est-à-dire après avoir fixé un taux d'inflation nul) représente la valeur temporelle de l'argent, c'est-à-dire l'écart dans le temps du pouvoir d'achat d'un montant donné.

Par exemple, une personne investissant une certaine somme aujourd'hui pourrait retirer, au bout d'un an, la somme initiale plus l'intérêt consenti. À ce moment cependant, son pouvoir d'achat correspond au montant retiré auquel il faut soustraire la perte due à l'inflation. Le taux d'actualisation correspond donc au taux d'intérêt auquel il faut soustraire le taux d'inflation.

Pendant de nombreuses années et jusqu'au début des années '70, ce taux oscillait aux environs de 3 à 4 pourcent. Ainsi, lorsque le taux d'inflation était à 3 %, le taux d'intérêt était aux environs de 6, ce qui laissait un taux d'augmentation réel du pouvoir d'achat de 6-3 %. Cependant, depuis quelques années, les taux d'intétêt et d'inflation ont connu des hausses fulgurantes, et ce phénomène ne semble pas sur le point de se résorber. La pratique courante consiste donc à prendre un taux d'actualisation beaucoup plus élevé, soit de l'ordre de 10 %. Cette valeur correspond par exemple à un taux d'intérêt de 20 % auquel 10 % d'inflation a été soustrait. C'est cette valeur de 10 % qui sera employée.

ÉVALUATION ÉCONOMIQUE

Valeurs de base

Il a été établi à la section méthodologie que le moment optimal de paver une route de gravier était l'année où le volume moyen de circulation atteignait un seuil donné. Comme les valeurs moyennes et les fourchettes des coûts des divers éléments sont maintenant connues, il devient possible de calculer le volume seuil requis dans chaque circonstance.

Dans un premier temps, nous considérons comme invariables les éléments qui, dans la réalité, varient le moins. Ce sont les quatre suivants:

R: Le coût d'une couche d'usure, fixé à 75 % du coût du revêtement initial.

N: L'intervalle entre couches d'usures, fixé à 20 ans.

ΔU: La variation des coûts d'opération des véhicules selon la surface de roulement, 16,53 − 11,53: 4,7¢ / véh. / km.

i: Le taux d'actualisation, fixé à 10 %.

Dans un deuxième temps, on fait varier les deux éléments qui sont sujets à des écarts plus considérables à savoir, les coûts annuels d'entretien (Δ = E compris entre 200 $ et 800 $ par km) ainsi que les coûts initiaux du revêtement (« C » compris entre 35 000 $ et 50 000 $ par km). Pour ce faire, on résout la relation A (formule de base) pour diverses valeurs C et de ΔE.

Le tableau IV contient les résultats de tels calculs. Il indique que le volume seuil de circulation se situerait entre des JMA extrêmes de 250 et un peu plus de 400 véhicules. Pour les moyennes provinciales de C et ΔE, ce volume seuil correspond cependant à un JMA d'environ 350 véhicules.

Analyse de sensibilité

Dans les tableaux V et VI la valeur du coût initial du revêtement (C) et l'écart des frais annuels d'entretien sont fixés respectivement à 42 600 $ et 400 $ par kilomètre, soit leurs moyennes globales de 1981.

Tableau IV VOLUME OPTIMAL (V_{opt}) DU TRAFIC (JMA) REQUIS POUR LA POSE D'UN REVÊTEMENT À CHAUD POUR DIVERSES VALEURS DE ΔE ET DE C

Économie annuelle d'entretien ($ / km)

Coût de Construction ($ / km) — C \ ΔE	200	400	600	800
35 000	290	275	260	245
40 000	335	320	305	290
45 000	380	365	350	335
50 000	425	410	395	380

Constantes	
R:	0.75¢
N:	20 ans
ΔU:	4.7¢ / véh.-km
i:	10 %

Au tableau V, les deux items variables ont trait aux interventions majeures requises au fil des années sur une route pavée. Jusqu'ici cela supposait la pose d'une couche d'usure. Il est possible cependant qu'une autre intervention soit envisagée, soit par exemple un rapiéçage mécanisé intensif ou un traitement de surface. Les coûts et l'intervalle entre ce genre d'intervention majeure peuvent à ce moment varier considérablement, le premier allant de 15 000 $ à 30 000 $ par kilomètre, et le dernier variant entre 10 et 25 ans.

Tableau V VOLUME OPTIMAL (V_{opt}) DU TRAFIC (JMA) REQUIS POUR LA POSE D'UN REVÊTEMENT À CHAUD POUR DIVERSES VALEURS DE R ET DE N

Coût d'une intervention majeure ($ / km)

Période entre interventions majeures (années) — N \ R	15,000	20,000	25,000	30,000
10	375	400	425	450
15	340	350	360	375
20	325	330	335	340
25	315	320	320	325

Constantes	
C:	42,600
ΔE:	400
ΔU:	4.7¢ / véh.-km
i:	10 %

À la lecture de ce tableau V on constate que le volume seuil de circulation n'est pas très sensible aux variations des deux paramètres considérés puisqu'il gravite toujours autour de 350 véhicules JMA. Ceci s'explique par le fait qu'une intervention majeure n'est requise sur une route nouvellement pavée qu'après de nombreuses années, et que son coût, une fois actualisé (c'est-à-dire ramené à sa valeur d'aujourd'hui) est assez marginal par rapport aux autres montants considérés.

Au tableau VI c'est le coût d'opération et le taux d'actualisation que l'on fait varier; le premier de 4,0 à 5,4¢ / véh.-km et le second de 8 à 12 %. Il appert que les résultats soient plus sensibles aux variations de ces deux paramètres qu'à ceux considérés aux tableaux IV et V. Remarquons toutefois que le JMA recherché ($V_{opt.}$) demeure continuellement entre 250 et 450 véhicules.

Tableau VI VOLUME OPTIMAL (V_{opt}) DU TRAFIC (JMA) REQUIS POUR LA POSE D'UN REVÊTEMENT À CHAUD POUR DIVERSES VALEURS DE ΔU ET DE i

Variation de coût d'opération (¢ / véh-km)

Taux d'actualisation % — i \ ΔU	4.0	4.7	5.4
8	340	290	250
10	400	340	300
12	470	400	350

Constantes	
C:	42,600
ΔE:	400
ΔR:	0.75¢
N:	20 ans

REVÊTEMENTS ÉCONOMIQUES

Utilité

Jusqu'à présent, la seule solution envisagée a été celle du revêtement bitumineux préparé et posé à chaud, laquelle selon le tableau II, s'appliquerait à plus de 95 % des km de revêtements souples posés sur les chemins municipaux. Nous avons cependant démontré plus haut qu'il faut un volume de circulation supérieur à ceux indiqués au tableau IV pour justifier un tel recouvrement. Ceci ne veut toutefois pas dire que pour des volumes inférieurs, il faille nécessairement laisser la route en gravier. En effet, d'autres procédés moins onéreux que le recours au béton bitumineux peuvent encore être envisagés.

Nature

De nombreux autres types de revêtements souples sont utilisés un peu partout en Amérique du Nord. Étant donné que leur coût initial est généralement moins élevé que celui d'un revêtement préparé et posé à chaud, ils sont souvent désignés sous le vocable « revêtements économiques ». De Montigny (1975) préfère l'expression « revêtements à froid ».

Une analyse détaillée des avantages, inconvénients et caractéristiques de ces divers types de revêtements dépasse les cadres de la présente étude. Le tableau VII tiré d'un guide (Ministère des transports du Québec, 1980 b) préparé par des spécialistes du MTQ fait cependant l'énumération de ces divers revêtements tout en apportant certaines précisions quant à leur fabrication et à leur emploi. On remarquera que les volumes (JMA) de circulation indiqués à ce tableau correspondent à des seuils au-delà desquels les solutions concernées ne sont plus recommandables sur le plan technique. Ils n'ont donc rien à voir avec les seuils économiques proposés plus haut dans le présent document.

Évaluation

Contrairement aux enrobés bitumineux posés à chaud, les revêtements économiques ne jouissent pas d'une très grande popularité auprès des différents intervenants du M.T.Q. Pour cette raison, il est difficile d'en connaître le comportement à long terme de façon bien précise. Toutefois, à l'aide de différentes informations fragmentaires disponibles sur le sujet, nous avons adopté les chiffres suivants pour les fins de la présente discussion :

- coût initial (C) : 10 000 $ @ 25 000 $ / km
- intervention majeure (R) : 50 % de C
- intervalle entre les interventions (N) : 10 ans.
- variation du coût d'entretien (△E) : 200 $ @ 800 $ / km / année
- taux d'actualisation (i) : 10 %.

Il reste à déterminer la variation des coûts aux usagers (△U). Aucune donnée n'a pu être trouvée sur le sujet, les figures existantes se limitant aux hausses de coût d'opération auxquelles l'on est en droit de s'attendre lorsque l'on circule sur des routes de gravier ou sur des pavages rugueux par rapport aux coûts enregistrés sur des surfaces de roulement conventionnelles. Comme la surface de roulement des revêtements économiques a une rugosité qui se situe quelque part entre celle d'un pavage dit « rugueux » et celle d'un pavage lisse, nous avons adopté un coût aux usagers qui se situe à mi-chemin entre le coût pertinent à chacune de ces deux surfaces. Ce coût est donc :

(14,33 + 11,83) / 2 soit 13,08¢ / véh.-km

Tableau VII GUIDE POUR LA PRÉPARATION D'UN PROJET DE REVÊTEMENT POUR ROUTE À FAIBLE TRAFIC
PROCÉDÉS POSSIBLES PAR CATÉGORIE

PROCÉDÉS	ÉPAISSEUR EN mm Revêement	Granulat de préparation	J.M.A. corrigé	CATÉGORIES	CCDG
Enrobé bitumineux préparé et posé à chaud MB-3	50	25	<2000	A	28.08
Enrobé bitumineux dense, préparé à froid avec bitume moussé	50	25	<2000	A	28.05
Enrobé bitumineux ouvert, préparé à froid + scellement aux gravillons	60	25	<2000	A	27.06 + 28.05
Enrobé bitumineux dense, préparé à froid + traitement de surface simple	60	25	<2000	A	27.06 + 28.05 + 28.03
Traitement de surface tricouche	25	90	<2000	A	28.03
Stabilisation à l'aide d'un pulvi-malaxeur + traitement de surface simple	100	25	<2000	A	27.06 + 28.03
Pénétration + traitement de surface simple	65	25	<2000	A	28.04 + 28.03
Traitement de surface tricouche	25	60	<1000	B	28.03
Traitement de surface bicouche	20	75	<1000	B	28.03
Traitement de surface avec granulat 19-0a	20	85	<1000	B	27.06
Enrobé bitumineux dense préparé à froid	50	25	<1000	B	27.06
Stabilisation à l'aide d'un pulvi-malaxeur + traitement de surface avec granulat 12,5-0	75	25	<1000	B	27.06
Traitement de surface bicouche	20	25	<400	C	28.03
Traitement de surface avec granulat 19-0a	20	35	<400	C	27.06

L'économie ainsi réalisée par rapport au coût enregistré sur une couche de roulement en gravier (ΔU) est donc:
16,53 – 13,08≃3,5¢ / véh.-km

En introduisant ces chiffres dans la relation A (formule de base), on obtient les volumes seuils reproduits au tableau VIII. Ces derniers indiquent que des revêtements dits « économiques » dont le coût initial se rapprocherait sensiblement de celui d'un enrobé à chaud ne peuvent se justifier par un volume de circulation appréciablement plus bas que celui qui a été calculé dans le cas des enrobés (tableau IV). Cependant pour des coûts unitaires plus bas, soit de l'ordre de 10 000 $ à 15 000 $ du kilomètre, ce volume seuil est considérablement abaissé et devient même peu significatif dans certains cas. Les revêtements économiques constituent donc une solution qui devrait être étudiée plus en profondeur en rapport avec les routes ayant un volume de circulation inférieur à 300-400 JMA.

Tableau VIII REVÊTEMENTS ÉCONOMIQUES VOLUME OPTIMAL (JMA) DE JUSTIFICATION

Économie annuelle d'entretien ($ / km)

Coût de Construction ($ / km) C \ ΔE	200	400	600	800
10 000	110	90	70	50
15 000	180	160	140	120
20 000	250	230	210	190
25 000	310	290	270	250

Constantes	
R :	0.5¢
N :	10 ans
ΔU :	3.5¢ / véh.-km
i :	10 %

CIRCULATION LOURDE

Lorsqu'il a été question de volume de circulation dans les pages qui précèdent, nous n'avons fait aucune mention du pourcentage de camions. Normalement, ce pourcentage est peu élevé sur le type de route étudiée ici et ne dépasse guère 10 ou 12 %.

L'expérience démontre que le passage d'un véhicule lourd sur une route de gravier entraîne des frais d'entretien plusieurs fois plus élevés que ceux occasionnés par un véhicule ordinaire. Il suffit d'insérer ces frais dans la même formule qu'employée précédemment (formule de base) pour déterminer si un pavage est justifié. Des frais d'entretien annuels élevés étant un des facteurs militant en faveur du pavage d'une route, une circulation lourde élevée peut donc hâter une telle décision.

Une fois prise la décision de paver une route, il faudra veiller, à l'étape du design, que le revêtement puisse résister aux contraintes qui lui seront imposées. Ainsi il faudra prêter une attention toute spéciale à la qualité de la fondation supérieure dès que le nombre de camions excède environ 20 par jour, et considérer également la résistance de la surface à l'abrasion ou à l'usure (arrachement de granulat). Ce dernier aspect peut même devenir critique dans le cas de revêtements très minces comme celui des enduits superficiels.

CONCLUSION

La pratique courante du MTQ, qui consiste à paver systématiquement tout chemin municipal nouvellement reconstruit, s'appuie par les motifs suivants:

— protéger les investissements déjà engagés;
— minimiser les frais d'entretien;
— améliorer la qualité du service.

Les raisons évoquées paraissent fondées. Toutefois, une analyse économique complète des coûts impliqués démontre que la pose d'un revêtement en béton bitumineux (procédé favorisé dans plus de 95 % des projets de revêtements de chemins municipaux) n'est pas justifié dans bon nombre de cas. En effet, les calculs démontrent que pour des faibles volumes de circulation, il en coûte moins cher au Ministère d'entretenir une route en gravier que d'avoir à supporter l'amortissement et les frais d'entretien d'un pavage conventionnel. Cependant, les usagers de la route de gravier voient alors les frais variables d'opération de leurs véhicules augmenter de l'ordre de 40 % par rapport à ceux qu'ils subiraient si la route possédait un revêtement souple. L'ensemble de ces coûts supplémentaires étant proportionnel au volume de circulation, il existe pour chaque cas, selon les coûts et bénéfices en jeu, un volume seuil de circulation au-delà duquel la pose d'un enrobé bitumineux (béton bitumineux préparé et posé à chaud) représente la solution coûtant globalement la moins chère à la société. Ce seuil de circulation varie selon les divers paramètres (tableaux IV, V et VI), mais en moyenne, il paraît se situer aux alentours de 350 véhicules (JMA).

Même si peu de relevés de circulation sont faits sur les chemins municipaux qui ont des volumes de circulation inférieurs à 500 véhicules par jour, il appert que bon nombre des 22,000 km de chemins municipaux en gravier supportent un volume journalier de circulation bien en déça de 350 véhicules. La pose d'un revêtement bitumineux à chaud dans ce cas ne paraît donc pas justifié. Cela n'implique toutefois pas nécessairement que ces routes doivent être laissées en gravier puisqu'il existe toute une gamme de revêtements intermédiaires, dénommés « revêtements économiques » ou « revêtements posés à froid » qui pourraient constituer la solution optimale dans certains cas. Cependant, pour diverses raisons pas toujours justifiées, ces types de revêtement ont été presque totalement délaissés au Québec ou encore on les a posés sur des mauvaises fondations de sorte qu'il est difficile d'obtenir des chiffres qui puissent vraiment éclairer sur le comportement à long terme qu'on serait en droit d'attendre dans des conditions normales d'utilisation. Des calculs sommaires indiquent cependant que certains de ces revêtements auraient leur place même sur des routes à très faible volume de circulation (voir tableau VIII). Il serait donc souhaitable que les experts du MTQ fassent une évaluation de la situation en procédant à des expériences pilotes et en examinant les résultats obtenus ailleurs dans des situations similaires.

Enfin, même si la présente étude démontre que la pose d'un enrobé à chaud est justifiée pour une route à volume journalier de circulation supérieur à environ 350 véhicules, ceci n'exclut pas que la pose d'un revêtement économique ne donne pas lieu alors à un rendement financier encore meilleur. Cette possibilité devrait donc être examinée en même temps. rt

RÉFÉRENCES

- BHANDARI, A.S., SINHA, K.C. (1979)
  Optimal timing for paving low-volume gravel roads T.R.B. publ. #702
  Washington D.C. Août 1979
- DEMONTIGNY, P. (1975)
  Les revêtements bitumineux et leurs emplois
  Routes du Québec, volume 13, Janvier 1975
- Ministère des transports de l'Ontario (1976)
  Priority Programming System (PPS)
  Road user benefit circulation package, vols 1 & 2
- Ministère des transports du Québec (1980) a
  Inventaire des chemins municipaux et routes
  Québec, Août 1980
- Ministère des Transports du Québec (1980) b
  guide pour la préparation d'un projet de revêtement pour la route à faible trafic
  Québec, Mai 1980
- Ministère des transports du Québec (1981)
  Programme des projets régionaux 1982-1986
  Québec, 1981
- WINFREY, R. (1969)
  Économic analysis for highways, tableau 2.6
  Int. texbook company, Penn. 1969



Utilisation du graphisme couleur pour l'amélioration interactive de parcours

Guy Lapalme et Michel Cormier

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

RÉSUMÉ

Depuis quelques années déjà, nous sommes impliqués dans le développement d'un système de construction de parcours pour des autobus scolaires; ce système fonctionne avec succès, mais les résultats doivent quand même être évalués «à la main» (ou plutôt «à l'oeil»). Afin de faciliter cette tâche fastidieuse, nous avons conçu une station de travail basée sur un écran couleurs à haute résolution. Le réseau routier et les parcours y sont affichés et, grâce à une interface facile, des évaluations et des modifications rapides peuvent être effectuées: par exemple, le réordonnancement des arrêts d'un parcours, la création de nouveaux parcours, l'échange d'arrêts entre les parcours. Certaines commandes permettent également de contrôler l'affichage.

ABSTRACT

Some years ago, we successfully implemented an automatic school bus routing system. However the results of the algorithms must still be evaluated «by hand» (or rather «by eye»). To assist in this tedious task, we have designed a system built around a high resolution color graphics work station. The road network and routes are displayed and, through an easy interface, rapid evaluations and modifications can be carried out: e.g. the stops in a route can be recorded, new routes can be created ans stops can be exchanged between routes. Commands are also provided to control the display and to remove temporarily certain routes from the display.

Nous disposons maintenant de toute une panoplie d'algorithmes pour nous aider à résoudre différents problèmes de construction de parcours pour des autobus scolaires. Cependant, dans bien des cas, les solutions obtenues doivent être évaluées «à la main» de façon à tenir compte de facteurs ignorés dans la formulation initiale du problème ou encore pour choisir entre plusieurs possibilités engendrées par des méthodes heuristiques. Il convient de noter que ces dernières sont souvent utilisées dans les problèmes réels lorsqu'il n'existe pas d'algorithme de résolution optimal ou qu'il serait trop coûteux d'en employer un.

Le problème de construction de routes peut se résumer ainsi: un certain nombre de points doivent être visités avec un (ou des véhicule(s); il s'agit de déterminer l'itinéraire de chacun d'eux tout en respectant des contraintes de distance maximum, de capacité du véhicule, de temps de parcours, etc. Chapleau et al. (1981, 1982) ont développé des algorithmes permettant d'obtenir des solutions acceptables à ce problème dans le cadre du transport scolaire, mais restait la question de l'évaluation et de la modification de ces parcours. Bien sûr, les ordinateurs peuvent sortir des «grandes quantités» de chiffres décrivant en détail les solutions, mais comment les évaluer rapidement? Passer à travers tous ces chiffres devient très fastidieux et presqu'aussi difficile que de résoudre le problème initial.

Une façon de condenser les résultats est d'utiliser le graphisme pour les représenter, l'oeil humain pourra alors y déceler des tendances, faire des comparaisons rapides, etc.

Au départ, le seul moyen d'évaluation à notre disposition était de tracer à la main, sur une carte du territoire, la suite des points composant un parcours; l'oeil pouvait alors déceler des irrégularités (des parcours revenant sur eux-mêmes, se croisant,...) qui étaient ignorées par les algorithmes ne disposant pas de tous les éléments de la composante spatiale de la solution. Ce traçage est extrêmement fastidieux et les modifications dans ce cadre deviennent à toutes fins utiles impossibles, car il faut modifier plusieurs fichiers en prenant bien soin d'en assurer la cohérence.

Nous avons donc pensé afficher les résultats sur un écran graphique: les différents parcours surimposés à une région du territoire. Les premiers essais sur un écran monochrome furent assez décevants car il était très difficile de distinguer le tracé du réseau de celui des différents parcours et même ceux des parcours entre eux. L'utilisation des couleurs s'est imposée très rapidement car elle permet justement d'ajouter une troisième dimension au traçage; on garde alors la composante géographique à deux dimensions et la couleur permet de séparer les différents éléments entre eux.

Pour ce, nous avons mis au point un programme d'application en langage Pascal, permettant d'afficher les parcours, de les modifier à l'aide d'un ensemble de commandes graphiques et d'assurer la mise à jour des informations associées aux différents parcours. La syntaxe des commandes est simple et permet un ensemble varié d'opérations sur les parcours tracés. Cette méthode manuelle d'évaluation et d'amélioration des parcours sera expliquée en détail un peu plus loin dans le texte, lorsque nous décrirons le fonctionnement du programme.

UNE APPLICATION AU TRANSPORT SCOLAIRE

Nous allons décrire brièvement le programme d'application développé dans le cadre du transport scolaire en considérant les points suivants: l'information de base, le choix des couleurs, le traçage et la représentation de l'information, les commandes graphiques et finalement l'implantation.

Ce rapport a été publié grâce à une subvention de fonds F.C.A.C. pour l'aide et le soutien à la recherche.

L'information de base

Notre programme joue essentiellement le rôle d'un éditeur: en ce sens, il permet d'évaluer (visualiser) et d'améliorer (modifier) les solutions déjà obtenues par d'autres algorithmes. Pour ce faire, il lui faut lire les informations concernant le réseau (c'est-à-dire les noeuds, les arcs, les positions des écoles et des points de correspondance) ainsi que les descriptions de parcours générés par les autres algorithmes.

Les deux fichiers de données en entrée sont donc les suivants:

1. Un fichier contenant les coordonnées des noeuds et des arcs qui décrivent les routes principales de la région à traiter. De plus, ce fichier contient les positions des écoles et des points de correspondance. Ce fichier constitue le réseau interne et, une fois tracé, il peut aider l'usager à situer géographiquement la région qu'il doit traiter.
2. Un fichier contenant la liste des arcs décrivant les différents parcours ou itinéraires que les autobus empruntent. Ce fichier contient également toutes les informations associées aux parcours: distance entre les arrêts d'autobus, horaires, type de parcours (urbain ou rural), etc.

Puisque les données contenues dans le fichier de description des parcours sont destinées à être modifiées, il est nécessaire d'avoir un fichier de travail qui nous permettra de conserver les résultats (intermédiaires) d'une suite de modifications. En réalité, chaque fois que l'usager choisit des parcours à modifier dans le fichier de description des parcours, le programme se charge automatiquement de conserver sur un autre fichier les parcours non choisis (les parcours choisis étant conservés en mémoire). Une fois les modifications exécutées, toutes les informations des parcours choisis et éventuellement modifiés sont ajoutées à la fin du fichier de travail. Ainsi, nous obtenons un nouveau fichier avec la description des parcours dernièrement modifiés. À ce point, le rôle des deux fichiers, l'ancien et le nouveau, s'inverse et on est prêt à une nouvelle série de modifications.

Le choix des couleurs

L'expérience a démontré qu'en utilisant un fond de couleur neutre (se rapprochant du gris), un plus grand nombre de couleurs sur une même surface pouvait être distingué. Un fond blanc ou noir est totalement déconseillé pour le travail interactif sur écran en couleurs. L'oeil se fatigue trop vite sous l'effet éclatant du blanc; quant au noir, toutes les couleurs apparaissant sur l'écran contrastent de manière violente avec le fond.

Les couleurs utilisées pour tracer des parcours, des réseaux de routes, du texte, des caractères pour les informations doivent essentiellement être distinctes par rapport au fond et entre elles.

En ce qui concerne le réseau, il doit être assez facilement reconnaissable sans toutefois nuire à la lecture des parcours et des informations associées puisqu'il ne sert que de point de référence dans le processus de modification des parcours. C'est pourquoi le réseau a été tracé dans une couleur relativement peu éclatante: bleu foncé.

Le choix des couleurs pour les parcours et les informations associées est le plus important et se limite au nombre maximum de parcours affichables sur l'écran. En s'appuyant sur des expériences accumulées lors des tests, un ensemble de codes de couleurs contrastantes pour les parcours fut déterminé préalablement. La figure 1 montre l'éventail des couleurs choisies pour chacun des parcours.

Les représentations graphiques

Selon que les parcours d'autobus scolaire sont de type urbain ou rural, ils impliquent une façon distincte de ramasser leur clientèle; en effet, en milieu urbain plusieurs étudiants se regroupent à des points précis que l'autobus visite dans un ordre approprié; en milieu rural, des considérations de sécurité et de distance empêchent les regroupements et les étudiants sont ramassés à leur domicile; comme la plus petite unité de localisation est un arc, nous devons supposer que l'autobus parcourt tout le segment afin de s'assurer que tous les étudiants y résidant sont effectivement ramassés. Cette différence doit bien entendu se refléter au niveau de l'affichage.

Le type rural, illustré à la figure 2, est composé de segments de ramassage (distance parcourue par l'autobus sur un arc sur lequel un nombre déterminé d'étudiants doivent être ramassés) que le programme trace en traits plus larges que les lignes de raccordement entre les dits segments. Le nombre total d'étudiants est inscrit près du milieu d'un segment et totalise tous les étudiants des arrêts du segment.

Le type urbain, que l'on peut voir à la figure 3, est composé d'arrêts de ramassage que le programme représente par de petits cercles à côté desquels est inscrit le nombre d'étudiants à cet arrêt. Les arrêts sont reliés entre eux par de minces lignes de raccordement; ces lignes peuvent être à vol d'oiseau ou indiquer les plus court chemin entre deux arrêts consécutifs. De plus les numéros de parcours et le nombre d'étudiants sont inscrits à l'extrême droite du cadre de la région tracée.

L'utilisation du programme interactif

Une session d'utilisation du programme interactif se compose essentiellement de deux étapes: la sélection des parcours et leur modification.

La première étape permet à l'usager de choisir les parcours qu'il désire examiner et éventuellement modifier. Les parcours qui sont spécifiés par leurs numéros sont affichés à l'écran.

L'étape de modification des parcours est constituée d'un ensemble de commandes séparées en deux classes: la première regroupe les commandes permettant de transformer les parcours et la seconde rassemble les commandes contrôlant l'affichage.

Les commandes de modifications s'effectuent sur les arrêts des parcours, elles permettent les trois opérations suivantes:

- Insertion
- Création
- Ordonnancement

L'insertion consiste à prendre une suite d'arrêts successifs d'un parcours et à les déplacer après un arrêt d'un autre parcours. Les figures 4 et 5 illustrent un exemple d'insertion : la figure 4 présente la situation initiale (le parcours beige croisant le parcours blanc) et la figure 5 montre le résultat du déplacement des deux arrêts du parcours beige dans le parcours blanc de façon à ce que les parcours ne s'entrecroisent plus. La création fonctionne de façon analogue, sauf que dans ce cas-ci les arrêts choisis servent alors à définir un nouveau parcours auquel on attribue un nouveau numéro. L'ordonnancement est utilisé pour changer l'ordre des arrêts dans un même parcours.

Les commandes d'affichage opèrent sur les trois paramètres suivants : couleurs des parcours, visibilité des parcours et le cadre. Pour ce qui est du premier paramètre, une commande permet d'échanger les couleurs de deux parcours : on peut ainsi augmenter le contraste des couleurs des parcours d'une région donnée et par le fait augmenter la lisibilité de l'affichage. Quant au deuxième paramètre, on dispose d'une commande qui rend invisible une série de parcours pour ainsi mieux mettre en évidence d'autres parcours; on peut par la suite, les faire réapparaître à l'aide d'une autre commande. Enfin, en ce qui concerne le dernier paramètre, une commande permet de redéfinir le cadre de la région tracée. Ce zoom permet d'agrandir une partie de la région affichée tout en conservant la même résolution. Les figures 6 et 7 illustrent cette commande : la figure 6 présente la partie à agrandir telle que spécifiée par l'usager qui en a indiqué les coins opposés (cette zone est entourée d'un cadre blanc) et la figure 7 montre le résultat de l'agrandissement. Une autre commande permet de retrouver l'écran initial.

Pour toutes les commandes qui s'appliquent sur les parcours (échange de couleurs, visibilité, insertion, création, ordonnancement), deux modes d'entrée s'offrent à l'usager : par clavier ou à l'aide du « manche à balai » (joystick). Si l'usager choisit le clavier, il doit alors spécifier le numéro du ou des parcours impliqués et des arrêts, s'il y en a. Le mode « manche à balai » donne la possibilité de pointer avec le curseur le ou les objets (parcours et / ou arrêts) requis par la commande, ce qui est beaucoup plus pratique et agréable car toute l'action se passe sur l'écran que l'usager n'a pas à quitter des yeux.

D'autres commandes ne se situent dans aucune des classes que nous avons vues plus haut : il y en a une qui permet de faire marche arrière sur des commandes précédentes de façon à revenir dans le même état qu'avant leur exécution, il est donc possible de tenter des essais et de revenir en arrière si les résultats ne sont pas satisfaisants; une deuxième commande donne une liste alphanumérique des différentes informations (périodes, distances, etc.) sur les parcours; une autre permet d'afficher une description sommaire du format des commandes; il est aussi possible d'effectuer un retraçage rapide du réseau et des parcours, ceci peut s'avérer nécessaire après l'affichage de la documentation ou des informations.

À la fin des modifications, il est possible de cataloguer les parcours revisés.

Implantation

Le programme interactif a tout d'abord été mis au point en PASCAL sur l'ordinateur CYBER 173 du Centre de calcul de l'Université de Montréal. Il pouvait cependant être opéré à partir du terminal CHROMATICS CGC7900, celui-ci se comportant alors comme un simple terminal relié au CYBER à l'aide d'une ligne de communication de 4800 bauds. L'exécution du programme se faisait cependant à une vitesse très lente étant donné que le CYBER doit supporter le temps partagé; c'est pourquoi il était plus pratique d'implanter le programme complètement sur le CHROMATICS, de manière à ce qu'il puisse être utilisé de façon autonome; en effet, ce système est doté d'un micro-ordinateur Motorola 68000 sur lequel est implanté le système IDRIS, un dérivé de UNIX.

Le programme a été séparé en modules sur le CHROMATICS. Les modules faisant des entrées-sorties sur les fichiers de parcours et de réseaux ont été récrits en C, de façon à les optimiser car ces opérations d'entrées-sorties, en particulier la lecture, sont très lentes dans l'implantation de Pascal dont nous disposons. La conversion de ces modules a permis de réduire le temps de lecture par un facteur d'environ 30! Le système d'exploitation disposant d'un éditeur de liens assez puissant et simple d'utilisation, il a été facile de combiner les modules écrits en deux langages différents.

Pour réaliser l'affichage du réseau et des parcours le programme interactif envoie sur la sortie des codes graphiques qui, en fait, ne sont rien d'autre que des séquences de caractères ASCII reconnues par le terminal CHROMATICS. Ces codes sont simultanément conservés dans une mémoire rapide du CHROMATICS lors de l'exécution des commandes de modifications des parcours ou du cadre. En faisant retracer cette mémoire, le dessin qui y est conservé est affiché avec une vitesse beaucoup plus rapide que lorsqu'il est généré par programme. De plus, comme on peut scinder cette mémoire en sous-tampons, nous avons attribué un sous-tampon au réseau et un sous-tampon à chacun des parcours, ce qui nous permet un contrôle efficace des différents objets affichés. On tire avantage de cette possibilité notamment dans les commandes qui changent la couleur ou la visibilité des parcours affichés (il suffit alors de changer la couleur et de tracer le contenu du sous-tampon désiré) et dans la commande qui retrace tout l'affichage. Enfin, soulignons qu'après l'exécution du programme le contenu de cette mémoire n'étant pas effacé, il est alors possible de sauver l'image qui s'y trouve dans un fichier.

CONCLUSION

Les raisons qui jouent en faveur de l'utilisation du traitement graphique interactif pour les problèmes de construction de routes sont les suivantes :

- Le traitement graphique interactif permet un contrôle dynamique du contenu, du format, de la dimension et des couleurs des images affichées sur un écran.
- Le système de présentation utilisant les processus de reconnaissance par l'image permet de percevoir et d'utiliser plusieurs types de données très rapidement et efficacement.

- Des images bien structurées facilitent l'assimilation de l'essence d'une idée ou d'une situation.
- En utilisant une judicieuse combinaison de texte, d'images statiques et dynamiques, il devient possible d'obtenir une communication entre l'homme et la machine qui soit souple, efficace et précise.

Dans notre application sur le transport scolaire, le graphisme interactif par ordinateur s'est révélé être un outil très efficace. La haute vitesse d'évaluation et la facilité de modification des parcours d'autobus démontrent, sans aucun doute, que l'outil interactif en couleurs est le chemin vers les développements futurs dans les recherches et les applications sur les transports. Nous avons d'ailleurs déjà commencé à utiliser ce programme dans le cadre de la planification du transport des handicapés et du ramassage postal.

REMERCIEMENTS

En terminant, les auteurs désirent remercier d'une part MM. Jacques Ferland et Jean-Marc Rousseau pour leurs conseils et pour l'aide financière qu'ils ont accordée au projet, et d'autre part MM. Luc Chapleau, Serge Lafrance, Claude Mallette et Alain Choquette pour le travail qu'ils ont accompli tout au long de la réalisation de ce projet. rt

RÉFÉRENCES

- Chapleau, L. et al. (1981) Clustering for Routing in Dense Area. Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, publication 206, 19 pages.
- Chapleau, L. et al. (1982) Transcol: un système de transport scolaire intégré rapport final. Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, publication 251, 80 pages.
- Chapleau, L. et al (1982) A Parallel Insert Method for the Capacitated Arc Routing Problem. Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, publication 234, 11 pages.

Figure 1 TABLE DES COULEURS UTILISÉES POUR L'AFFICHAGE DES PARCOURS

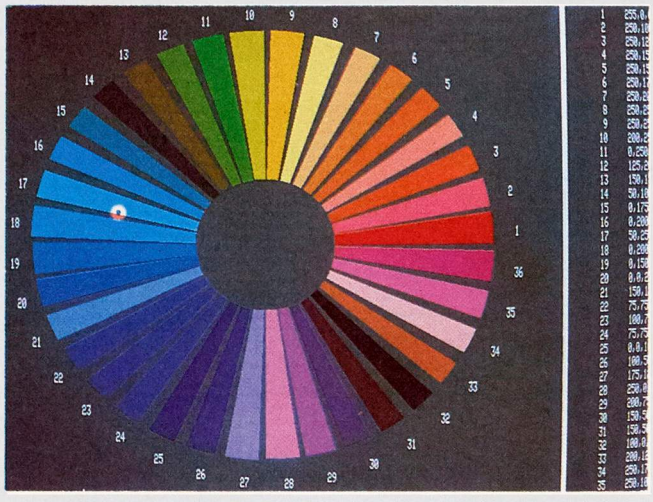
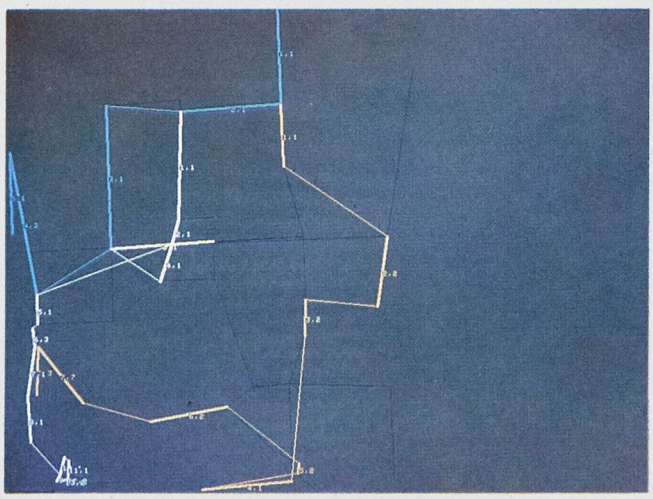
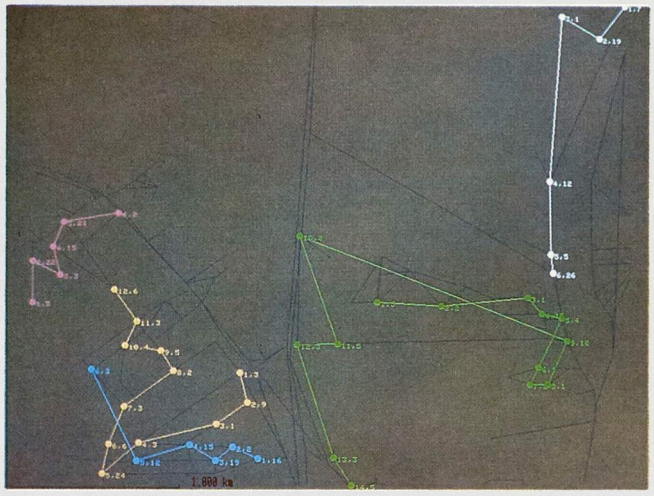


Figure 2 PARCOURS RURAL



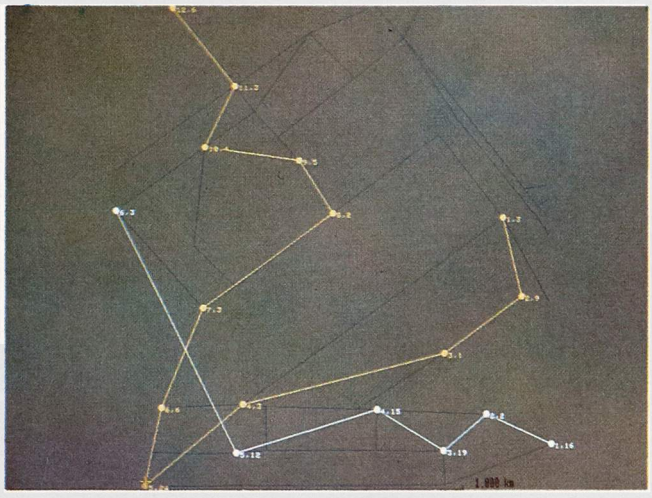
Le ramassage se fait le long des segments de route représentés par des vecteurs épais.

Figure 3 PARCOURS URBAINS:



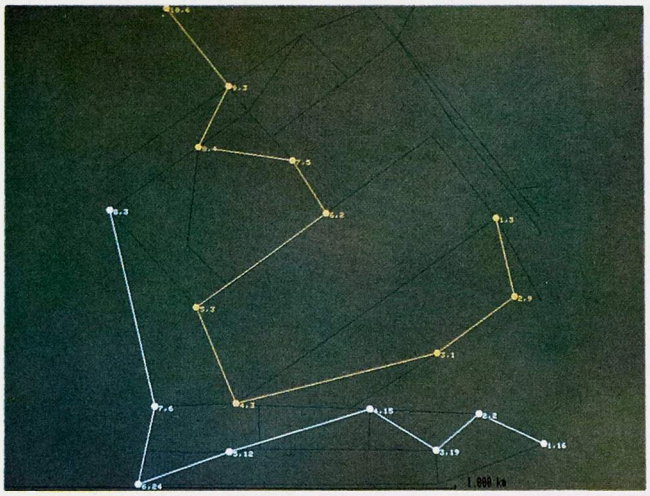
Le ramassage se fait à des points précis qui sont représentés par des cercles.

Figure 4 SITUATION AVANT UNE INSERTION:



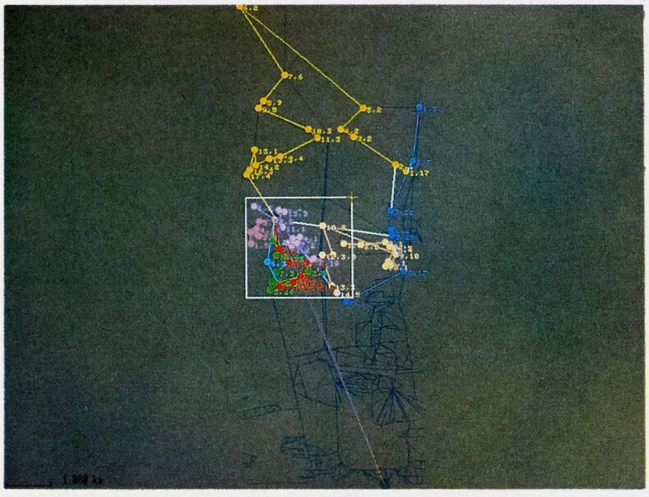
Le parcours beige croise le parcours blanc et on désire corriger cette situation en déplaçant les arrêts « indésirables » du parcours beige (les arrêts 5 et 6) dans le parcours blanc (après l'arrêt 5).

Figure 5 SITUATION APRÈS L'INSERTION :



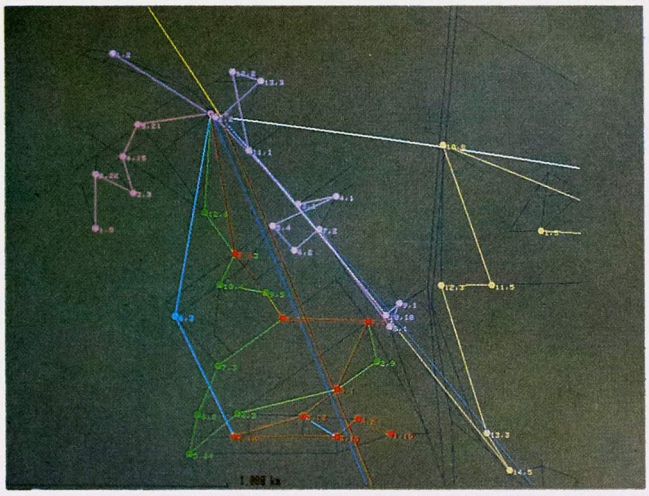
Les arrêts du parcours beige ont été déplacés dans le parcours blanc.

Figure 6 SITUATION AVANT UN ZOOM :



La portion de l'écran visée par le zoom est délimitée par un cadre blanc (noter la confusion résultant de l'affichage d'un trop grand nombre de parcours sur une surface réduite).

Figure 7 SITUATION APRÈS UN ZOOM :



La surface cible de la figure 6 a été agrandie et occupe maintenant tout l'écran permettant ainsi de distinguer beaucoup plus facilement les différents parcours.

Congrès international des transports

Montréal 1984

Un congrès international sur les transports aura lieu à Montréal du 23 au 27 septembre 1984. Cette manifestation regroupera les congrès annuels des trois associations suivantes:

- l'Association des routes et transports du Canada (ARTC)
- l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR)
- l'Association pour le développement des techniques de transport, d'environnement et de circulation (ATEC), France

SOMMAIRE DES ACTIVITÉS PRÉVUES

- Des séances et ateliers sur de multiples sujets;
- Des communications présentées par des conférenciers de marque;
- Des déjeuners-causeries;
- Des visites techniques variées;
- Une exposition technique de grande envergure;
- Un programme d'animation pour les personnes accompagnant les congressistes.

PROGRAMME DES ATELIERS

- Besoins dans les infrastructures:
  Conception géométrique et structurale, techniques d'entretien, utilisation de matériaux marginaux.

- Financement des infrastructures de transport:
  Routes à péage, rôle du secteur privé, autofinancement.

- Transport des handicapés:
  Modes d'organisation comparés, principes d'éligibilité, financement.

- Système de gestion de l'entretien routier:
  Chaînon dans la prise de décision, évaluation des réseaux routiers, intégration des besoins routiers avec les services d'aqueduc, utilité des systèmes.

- Communication avec l'usager des transports collectifs:
  Mise en marché, services à l'usager, horaire en temps réel.

- Covoiturage:
  Nouveaux systèmes: semi-collectif.

- Processus de décision (urbain):
  Organisation, centralisation, décentralisation, subventions.

- Planification en transport urbain:
  Évolution des modèles, application par les planificateurs.

Détermination de la visibilité sur le profil en long d'une route

K.G. Baass et M. Noël
ÉCOLE POLYTECHNIQUE, MONTRÉAL

SOMMAIRE

La distance de visibilité est un des facteurs primordiaux dans la conception géométrique des routes. Cette distance dépend de l'alignement en plan et en profil et est mesurée sur le plan. Lorsque plusieurs variantes d'alignement sont étudiées lors de l'avant projet, ce travail devient long et reste imprécis. Un programme d'ordinateur a été développé qui permet de déterminer automatiquement la distance de visibilité disponible le long du profil de la route et dessine le diagramme de visibilité, soit sur le traceur des courbes de l'ordinateur, soit sur imprimante rapide. Les tronçons de la route ayant une visibilité insuffisante sont ainsi aisément détectés et la portion de la route où un dépassement est possible est facilement calculable.

ABSTRACT

Sight distance is a crucial element in the geometric design of highways. This distance depends on the horizontal and vertical alignment of the roadway as well as on its cross-section. During the design phase fo the highway this distance is scaled on the plan and profiles and a graph illustrating sight distances at each point of the highway is generated. This manual procedure is time consuming when many alternatives are studied and remains imprecise if the sight distance is not recorded at frequent intervals. An algorithm has been developed to determine available sight distances over the vertical alignment of the highway, and the sight distance diagram is drawn by a computer plotter and / or on the line printer. The program can take into consideration variations in measurement intervals, scale, precision, the height of the eye and the obstacle, the height of cars and the characteristics of the light beam. Road segments with insufficient passing or stopping sight distances are easily detected in this way and adjustments in road alignment can be carried out in the preliminary stages of design.

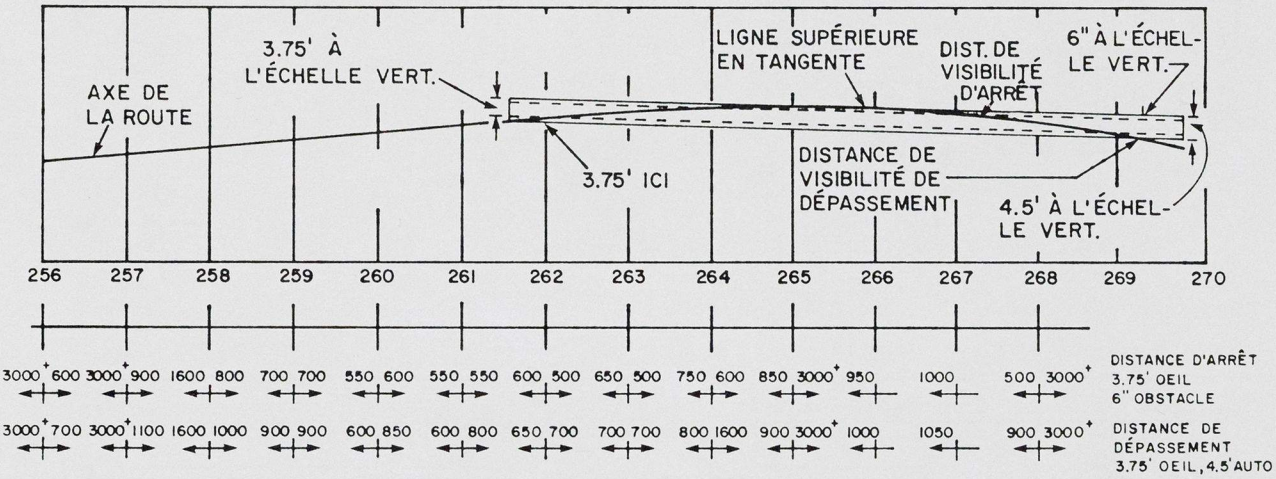
Lors de la conception du tracé d'une route, il est primordial d'assurer au conducteur une bonne visibilité sur la route qui s'ouvre devant lui. D'une part, on doit prévoir une distance de visibilité suffisante pour que le conducteur puisse arrêter son véhicule en sécurité si un obstacle se présente et ceci à partir de tous les points de la route. D'autre part pour des raisons de sécurité et de capacité de la route, il s'agit de prévoir une distance de visibilité adéquate et à des occasions fréquentes afin de permettre au conducteur le dépassement d'un véhicule plus lent. Le pourcentage de route où le dépassement est possible est en effet un critère important d'évaluation de la qualité de la route.

La détermination de la visibilité disponible lors de l'étude du tracé de route se fait généralement par mesure à l'échelle sur le plan et le profil. La figure 1 illustre l'utilisation (voir AASHTO 1965) d'une règle transparente qui permet de relever la distance de visibilité d'arrêt et celle disponible pour le dépassement.

Ce travail est fastidieux, surtout au niveau de l'avant-projet où plusieurs variantes sont à évaluer; il demande beaucoup de temps lorsque la distance entre les points de mesure est faible, et de plus, à cause du problème de précision de dessin et de la mise en tangente difficile, les résultats restent imprécis. Ce travail peut cependant être effectué rapidement à l'aide d'un programme d'ordinateur intégré qui a stocké les informations concernant le plan et le profil de la route à étudier et qui contient également l'allure du terrain avoisinant à la route (par exemple le programme ICES ROADS 1968).

Le but du présent article est de décrire un algorithme efficace qui permet de calculer la distance de visibilité d'arrêt et de dépassement le long d'un profil en long d'une route.

Figure 1 RELEVÉ DES DISTANCES DE VISIBILITÉ

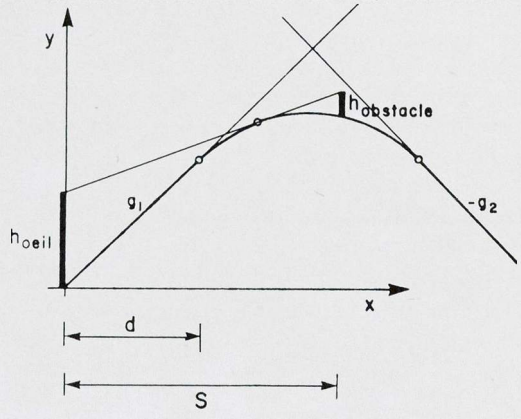


DÉVELOPPEMENT DE FORMULES

Le profil en long d'une route est composé de lignes droites, de courbes saillantes et de courbes rentrantes. En Amérique du Nord, en raison de ses caractéristiques mathématiques avantageuses, on a adopté la courbe parabolique de deuxième degré comme courbe de transition entre les lignes droites du profil. La distance de visibilité disponible dans les courbes saillantes dépend de la hauteur de l'oeil du conducteur et de celle d'un éventuel obstacle qui barre la route. Dans le cas des courbes rentrantes, la visibilité est restreinte par la portée des phares de l'automobile qui, elle même, est déterminée par l'angle d'ouverture du faisceau lumineux des phares.

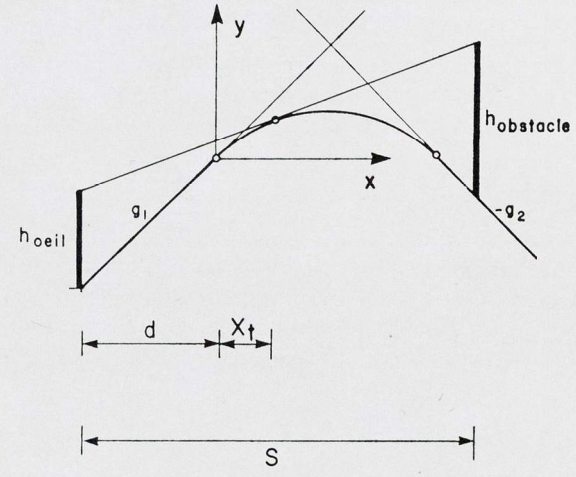
On peut distinguer pour chacun des deux types de courbes, quatre cas dépendant de la position du véhicule et de celle de l'obstacle. Les figures 2, 3, 4 et 5 montrent les relations géométriques ainsi que les formules qui permettent de calculer la distance de visibilité (S) disponible pour le cas d'une courbe saillante, tandis que les figure 6, 7, 8 et 9 illustrent ces relations pour une courbe rentrante.

Figure 2 CAS 1, COURBE CONVEXE
Véhicule en dehors de la courbe
obstacle dans la courbe



$$S = \sqrt{d^2 + \frac{2Lh_{oeil}}{A}} + \sqrt{\frac{2Lh_{obst}}{A}}$$

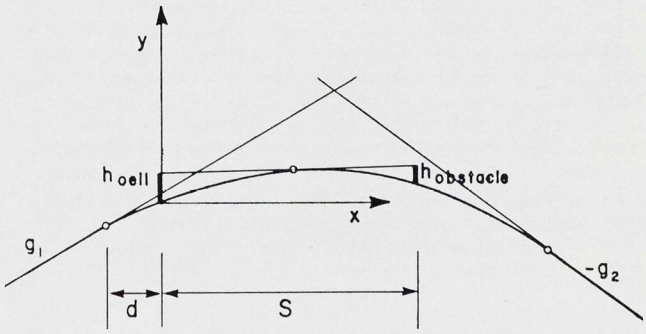
Figure 3 CAS 2, COURBE CONVEXE
Véhicule et obstacle
en dehors de la courbe



$$X_t = \sqrt{d^2 + \frac{2Lh_{oeil}}{A}} - d$$

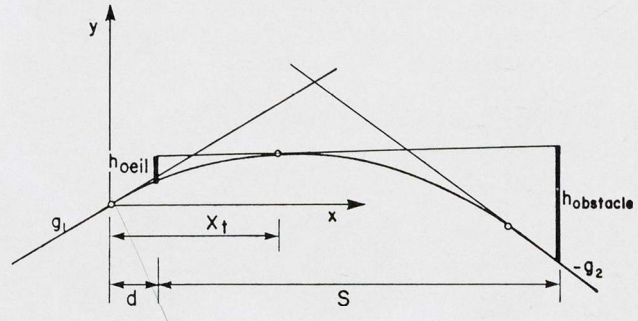
$$S = \frac{A(L^2 + 2Ld) - 2L(h_{oeil} - h_{obst})}{2A(L - X_t)}$$

Figure 4 CAS 3, COURBE CONVEXE
Véhicule et obstacle
dans la courbe



$$S = \sqrt{\frac{2Lh_{oeil}}{A}} + \sqrt{\frac{2Lh_{obst}}{A}}$$

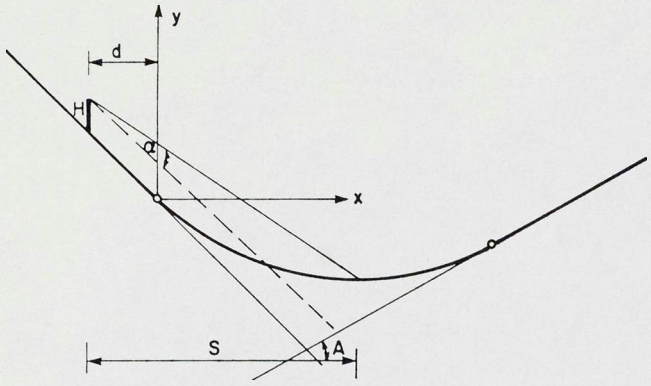
Figure 5 CAS 4, COURBE CONVEXE
Véhicule dans la courbe
Obstacle en dehors de la courbe



$$X_t = d + \sqrt{\frac{2Lh_{oeil}}{A}}$$

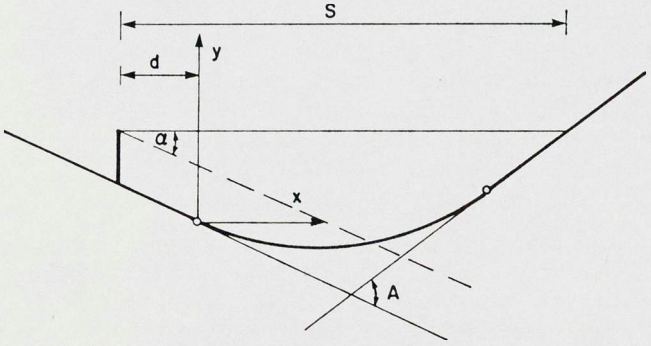
$$S = \frac{A(L-d)^2 - 2L(h_{oeil} - h_{obst})}{2A(L - X_t)}$$

Figure 6 CAS 1, COURBE CONCAVE
Véhicule en dehors de la courbe
Phares dans la courbe



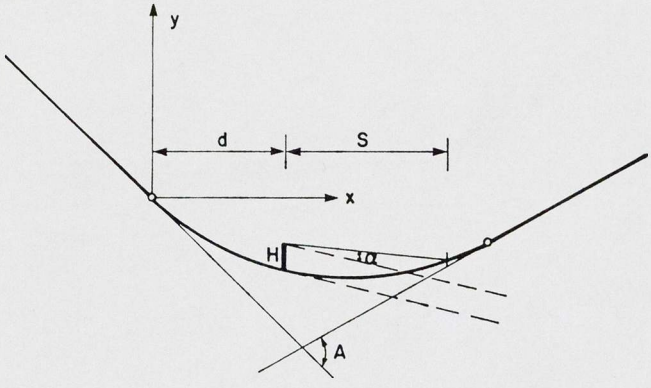
$$S = d + \frac{L}{A}\left(\tan\alpha + \sqrt{\tan^2\alpha + \frac{2A}{L}(H + d\tan\alpha)}\right)$$

Figure 7 CAS 2, COURBE CONCAVE
Véhicule et phares
en dehors de la courbe



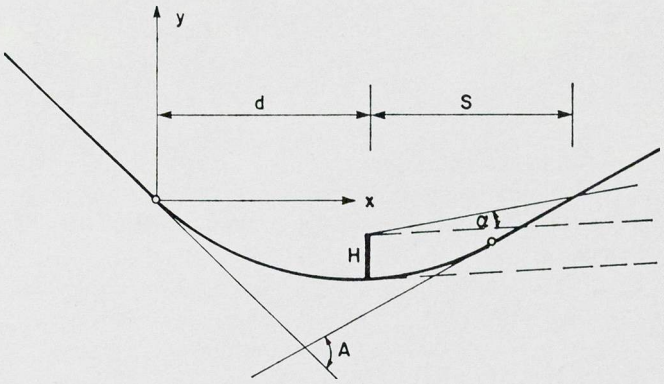
$$S = \frac{2H + A(L + 2d)}{2(A - \tan\alpha)}$$

Figure 8 CAS 3, COURBE CONCAVE
Véhicule et phares
dans la courbe



$$S = \frac{L}{A}\left(\tan\alpha + \sqrt{\tan^2\alpha + \frac{2A}{L}H}\right.$$

Figure 9 CAS 4, COURBE CONCAVE
Véhicule dans la courbe
Phares en dehors de la courbe



$$S = \frac{2HL + A(L-d)^2}{2L\left(A - \frac{A}{L}d - \tan\alpha\right)}$$

Ces formules peuvent servir à développer les formules utilisées dans les normes. Pour le choix de la longueur d'une courbe verticale saillante, les normes se basent sur le cas 3 (figure 4) là où la distance de visibilité (S) est plus petite que la longueur (L) de la courbe. La distance de visibilité ne varie pas en fonction de la position de la voiture et de l'obstacle à l'intérieur de la courbe. Le cas 2 illustré en figure 3 sert dans la situation où S>L. On obtient la distance de visibilité minimale S à une distance de d mètres avant le début de la courbe en dérivant:

$$\frac{dS}{dd} = 0$$

ce qui donne:

$$d = \frac{\sqrt{h_{oeil}}\left\{2\left(\sqrt{h_{oeil}} + \sqrt{h_{obst}}\right)^2 - AL\right\}}{2A\left(\sqrt{h_{oeil}} + \sqrt{h_{obst}}\right)}$$

et la distance S minimale:

$$S = \frac{L}{2} + \frac{\left(\sqrt{h_{oeil}} + \sqrt{h_{obst}}\right)^2}{A}$$

Formule bien connue et utilisée dans les normes.

Les mêmes cas servent dans les normes pour l'établissement des longueurs minimales des courbes rentrantes. La figure 7 montre clairement que la distance minimale est donnée en cas 2 lorsque d devient égal à zéro, c'est à dire que le véhicule se trouve au début de la courbe.

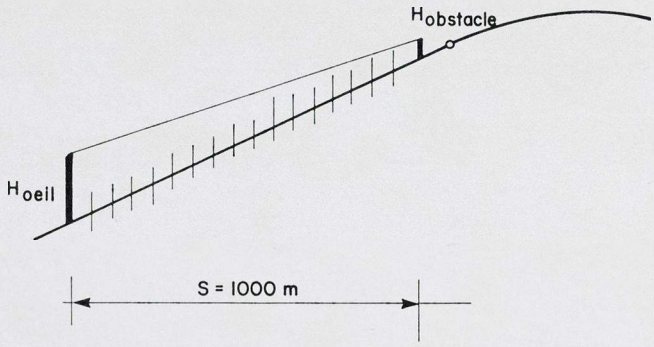
L'ALGORITHME

Bien que les formules apparaissent relativement simples, leur utilisation dans un algorithme serait inefficace à cause du nombre élevé de combinaisons de courbes saillantes et rentrantes qui pourraient se suivre à courte distance. Ces formules servent cependant à la vérification des résultats de l'algorithme et peuvent être appliquées à un profil simple où une seule courbe est en jeu, comme par exemple lors de l'étude d'un accident.

Une autre approche pour calculer la distance de visibilité à un point de chaînage donné dont l'altitude est connue, a été adoptée, et dont les principes sont décrits dans les grandes lignes dans ce qui suit. L'algorithme n'évalue pas de distances plus grandes que 1000 mètres, car cette distance représente la distance nécessaire pour le dépassement à une vitesse de 140 km / h. Si la distance disponible est plus grande que 1000 m, on l'indique comme étant égale à 1000 m. L'algorithme suit les étapes suivantes:

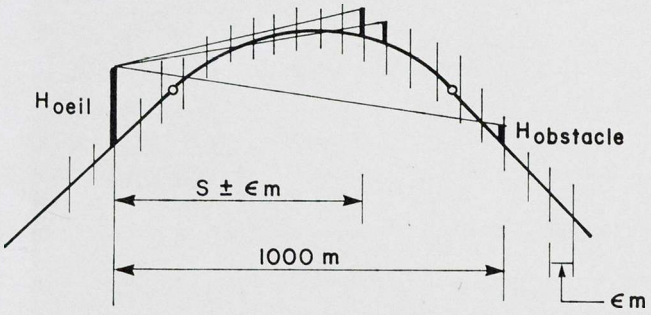
1) L'automobile est située au point de chaîne c + s à étudier et l'obstacle est placé en un point situé à 1000 m de là.
2) On relie l'oeil au point le plus haut de l'obstacle par une ligne droite et on calcule les altitudes sur ce rayon visuel à des intervalles e, où e dépend de la précision voulue du résultat.
3) On compare les altitudes des points du rayon visuel à celles du profil en long.
4) Si toutes les altitudes du rayon sont au-dessus de celles du profil en long, la visibilité disponible est au moins égale à la distance qui sépare l'automobile de l'obstacle, avec une précision de e / 2. (voir figure 10). On continue en 6).

Figure 10 PRINCIPE DE L'ALGORITHME LIGNE DROITE



Si au moins un des points sur le rayon visuel a une altitude en dessous du profil de la route, la distance de visibilité est plus petite que celle qui sépare le véhicule de l'obstacle. Ceci est illustré en figure 11. On continue en 5).

Figure 11 PRINCIPE DE L'ALGORITHME COURBE CONVEXE

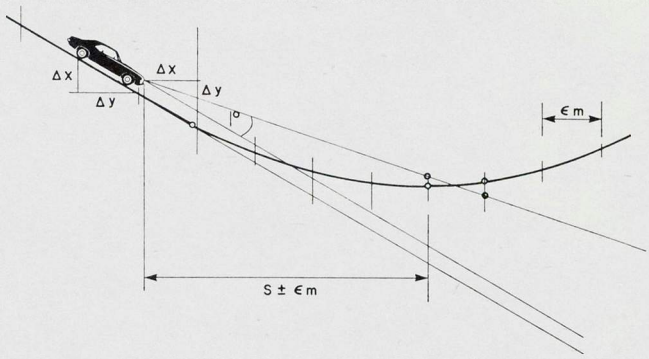


5) On rapproche de e mètres l'obstacle vers le véhicule, et on continue en 2).
6) On étudie un autre point s mètres plus loin en recommençant à l'étape 1).

Dans le cas d'une courbe rentrante le critère des phares devient décisif et l'algorithme suit les étapes suivantes:

1) On situe l'automobile au point à étudier (voir figure 12).

Figure 12 PRINCIPE DE L'ALGORITHME COURBE CONCAVE

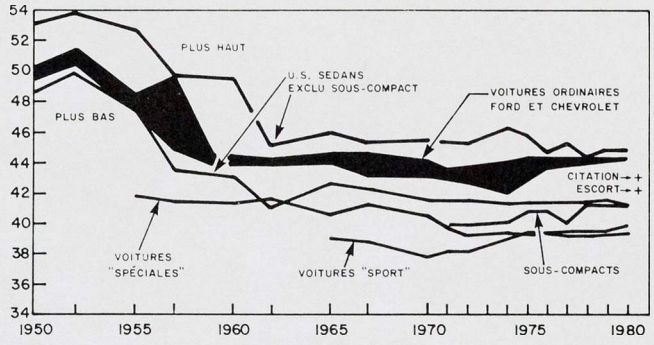


2) On calcule la pente au point donné et on y ajoute l'angle d'ouverture du faisceau des phares (angle alpha). On calcule ensuite les altitudes des points à des intervalles e sur le rayon des phares.
3) On compare les altitudes du rayon à celles du profil en long en partant du véhicule. Tant que les altitudes sur le rayon sont au dessus du profil, la distance de visibilité n'est pas atteinte. Au moment où le premier point sur le rayon est en dessous du profil de la route, la distance de visibilité est obtenue. On avance de s mètres et on continue à l'étape 1).

Des situations complexes, où plusieurs courbes convexes et concaves se suivent, peuvent être traitées de cette manière. Bien entendu, l'algorithme programmé contient certaines finesses tirant profit de la configuration spéciale du problème pour accélérer considérablement la recherche de la distance de visibilité.

Toutes les variables importantes ont été paramétrisées afin de pouvoir étudier facilement leurs variations (notamment la vitesse de conception, la distance entre les points où la visibilité est à évaluer, la précision e du résultat, l'échelle horizontale du diagramme, l'angle d'ouverture des phares, la hauteur des phares, la hauteur de l'oeil, de l'obstacle et de l'automobile). En effet, les changements récents dans la composition du parc automobile ont entraînés des diminutions dans la hauteur de l'oeil du conducteur et dans celle des phares (figure 13 tirée de Farber et al. 1982).

Figure 13 DÉVELOPPEMENT DE LA VARIABLE: HAUTEUR DES YEUX
Hauteur des yeux pour les voitures américaines: 1950-1980



L'impact de ces changements sur la sécurité de la circulation peut être évalué à l'aide de cet algorithme. Les résultats peuvent être produits sur imprimante rapide (figure 13) ou sur traceur des courbes comme la figure 14 le montre.

Figure 14 PROFIL DE VISIBILITÉ SUR IMPRIMANTE RAPIDE

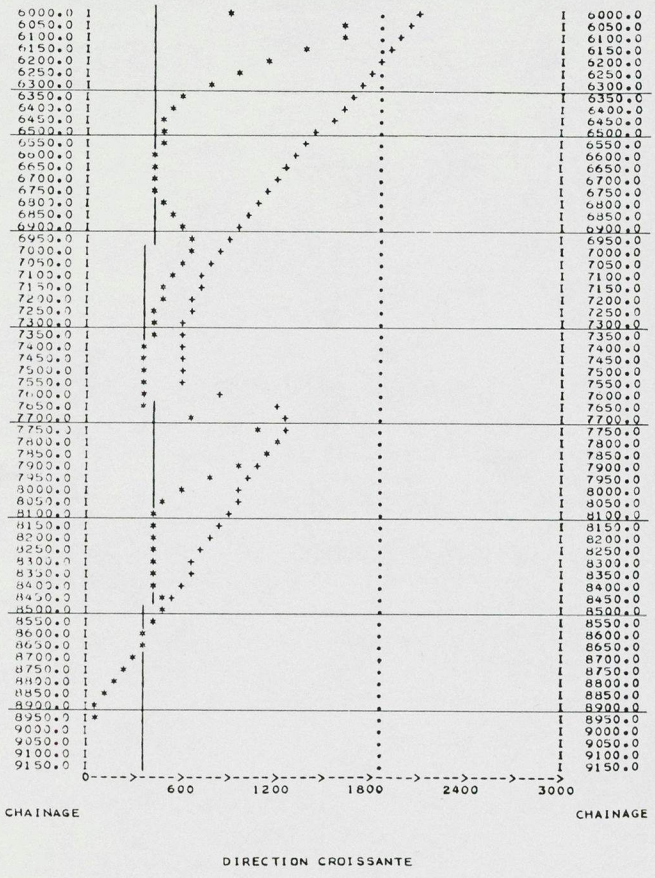
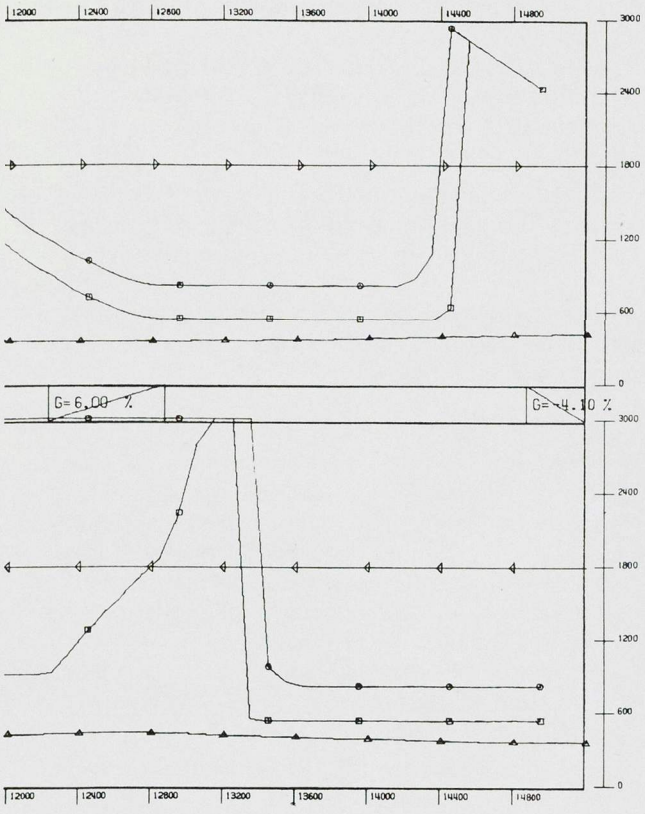


Figure 15 PROFIL DE VISIBILITÉ SUR TRACEUR DES COURBES



CONCLUSIONS

Le programme, ainsi que les formules dévelopées permettent lors de la conception de la route, de détecter rapidement tout tronçon de route ayant une visibilité d'arrêt insuffisante. Ils permettent également de calculer le pourcentage du profil où un dépassement est possible. Les ajustements éventuels peuvent ainsi être effectués à l'étape de l'avant-projet. Pour des fins de recherche, on peut également faire varier les paramètres tels que hauteur des yeux, hauteur de l'obstacle, les caractéristiques des phares afin d'apprécier les changements que cela apporterait au diagramme de visibilité et sur la sécurité de la circulation sur les routes existantes. rt

RÉFÉRENCES :

AASHTO (1965) A Policy on Geometric Design of Rural Highways. Published by American Association of State Highway and Transportation Officials. Wash. D. C.

FARBER, E.I. et al. (1982) Driver Eye Height Trends and Sight Distance on Vertical Curves. Article présenté au 61ième Congrès annuel du Transportation Research Board à Wash. D. C. 30 pages.

ICES ROADS (1968) Engineering Guide to Roadway Analysis and design System. MIT Report R68-86. Cambridge, Mass.

LES CONSULTANTS TRAFIX INC.
Directeur Ottavio Galella, ing.
B. Sc. A., D.E. Compl
Ingénieur en circulation
CIRCULATION
AMÉNAGEMENTS ROUTIERS
SIGNALISATION
FEUX LUMINEUX
STATIONNEMENT
TRANSPORT
SÉCURITÉ ROUTIÈRE
AU SERVICE DES VILLES QUÉBÉCOISES DEPUIS 1975
5300 boul. GOUIN EST, MONTRÉAL (QUÉ.) H1G 1B4 (514) 327-2117

Problèmes de conception des chaussées des ports à conteneurs

J. Hode Keyser et A. Guedehoussou
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

SOMMAIRE

Les chausées des complexes portuaires spécialisés pour containeurs se distinguent de celles des routes et des aéroports d'une part par les sollicitations exceptionnelles auxquelle elles sont soumises, d'autre part par la configuration spatial de la circulation et le mode des sollicitations. Elles consistent généralement en des structures très épaisses et requièrent des techniques de dimensionnement encore inexistantes.

À la lumière des résultats d'une enquête réalisée par le Centre de Recherche et de Contrôle Appliquée à la Construction sur l'état de la pratique dans ce domaine, on souligne et précise dans cet article la nature des problèmes de conception des chaussées de terminaux portuaires après une définition concrète des conditions de sollicitation.

ABSTRACT

Pavements in container ports are for the most part different from highway and airport pavements. This is due to the different geometry, the exceptional stresses caused by point loads and to the repetition of loads as well as to the different spatial distribution of traffic. Because of these differences contrainer port pavements need to be designed using special design procedures, which are not yet available.

A preliminary survey of actual design practice has been carried out and the present article defines, based on its results, the precise nature of the design problem and describes the actual loading conditions encountered in container ports.

INTRODUCTION

Les structures des chaussées de terminaux marins sont généralement dimensionnées avec des méthodes développées pour les charges lourdes de routes ou d'aéroports. Or depuis l'avènement des conteneurs, ces chaussées sont soumises à des conditions de sollicitation exceptionnelles qui rendent inadéquate l'application des méthodes usuelles. En effet:

- Les charges dynamiques pour roue des véhicules de manutention sont extra-lourdes
- Les vitesses de déplacement des véhicules en opération sont lentes et souvent nulles
- Le trafic est relativement peu canalisé par rapport à la circulation routière ou aéroportuaire
- Les charges statiques des conteneurs sont élevées, de longues durées, avec des pressions unitaires de contact importantes provoquant le poinçonnement de surface de la chaussée
- Les fréquents mouvements giratoires des véhicules de manutention causent des efforts de torsion dans la couche de surface
- Le déversement d'huiles à la surface de la chaussée par certains véhicules entraînent la dégradation des revêtements bitumineux
- La surface de la chaussée est exposée à diverses formes d'agression par les équipements lourds: choc, striation, etc.

Deux sortes de problèmes incombent à la conception des chaussées de terminaux marins. D'une part, le calcul structural sur des bases rationnelles; d'autre part l'assurance de qualités pour que les matériaux de surface résistent aux aggressions diverses. Dans cet article nous tenterons de définir les problèmes de dimensionnement des chaussées de terminaux marins et de faire le point sur l'état de la pratique dans ce domaine.

L'article est divisé en 3 parties: Dans la première partie on fera une comparaison entre les chaussées pour routes, pour aéroports et pour terminaux marins; la deuxième partie traite spécifiquement du problème de dimensionnement des terminaux marins à conteneurs et; la troisième partie traitera des résultats d'une enquête menée par le Centre de recherche et de contrôle appliqué à la construction (CRCAC Inc.) sur les pratiques actuelles en matière de dimensionnement des chaussées portuaires.

COMPARAISON ENTRE LES CHAUSSÉES POUR ROUTES, POUR AÉROPORTS ET POUR TERMINAUX MARINS

Les trois types de chaussées se distinguent par les différents aspects relevant de leurs modes particuliers d'exploitation, notamment en ce qui concerne d'une part les caractéristiques des véhicules qui déterminent la largueur de la voie de circulation. D'autre part, les intensités de charges appliquées, les arrangements de roue et les fréquences de chargement déterminent le type de structure selon la portance requise.

Arrangements de roues et charges des véhicules

A) Véhicules routiers

Les camions lourds et les systèmes de tracteurs avec remorques ont généralement des largeurs n'excédant pas quelque 2,60 m. Ils sont dotés de différentes combinaisons d'essieux simples et jumelés dont le nombre varie entre deux et cinq. Quelques arrangements usuels des roues d'une moitié d'essieu sont montrés dans la figure 1-a. La charge par roue et la pression de gonflage des pneux varient normalement entre les limites suivantes:

- charge par roue: 20 à 60 KN
- pression pneumatique: 0,6 à 2,0 MPa

B) Véhicules des terminaux marins de conteneurs

Ils sont de trois catégories comprenant des véhicules lourds routiers (décrits en a)), des véhicules de manu-

tention et de reprise (chariots élévateurs et chariots cavaliers) et des véhicules de stockage (portique de stockage).

Les chariots élévateurs sont généralement équipés d'un essieu simple avant à roues uniques ou doubles. Les chariots cavaliers prennent appui sur quatre jambes supportées chacune par une, deux ou quatre roues (c.f. figure 1-b et figure 3).

Les portiques de stockage sont supportés par quatre jambes terminées chacune par une roue, et leur largeur peut atteindre jusqu'à 25 m - 30 m. La charge par roue et la pression pneumatique varient normalement (figure 2) dans les limites suivantes:

- charge par roue: 20 à 500 KN
- pression pneumatique: 0,6 à 2,0 MPa

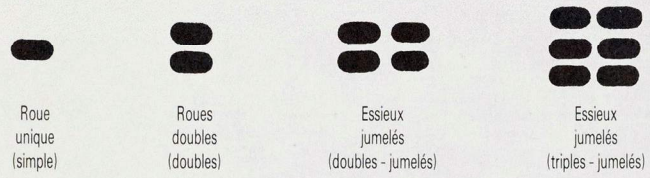
c) Véhicules aéroportuaires

En dépit de leur grande variété, les avions reposent généralement au sol par deux jambes appuyées chacune sur l'une ou l'autre des combinaisons de roues montrées dans la figure 1-c. La charge maximum par roue et la pression pneumatique sont généralement moins élevées que celles des véhicules de port à conteneurs:

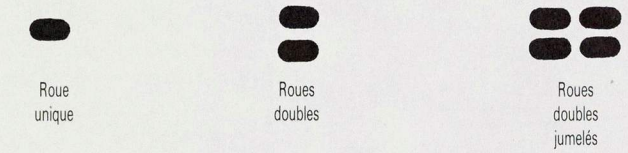
- charge par roue: 50 à 200 KN
- pression pneumatique: 0,4 à 1,4 MPa

Figure 1 EXEMPLES D'ARRANGEMENTS DE ROUES DES VÉHICULES

A) Véhicules routiers: camions, tracteurs, remorques



b) Véhicules portuaires: tracteurs, remorques, chariots, portique.



c) Véhicules aéroportuaires

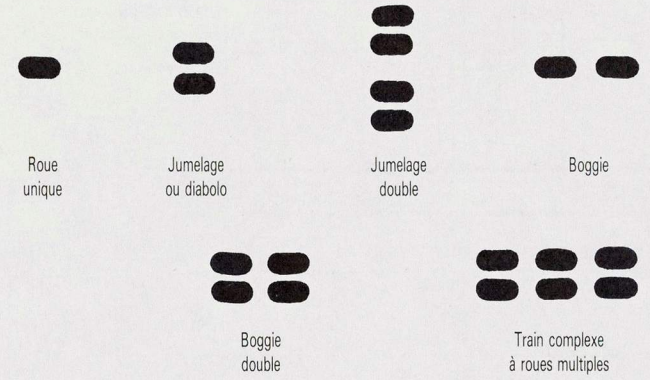


Figure 2 PORTIQUE



Figure 3 CHARIOT ÉLÉVATEUR



Géométrie des chaussées

Les caractéristiques géométriques des chaussées pour routes et aéroports sont généralement normalisées. Un exemple type est illustré sur la figure 4a et 4 b.

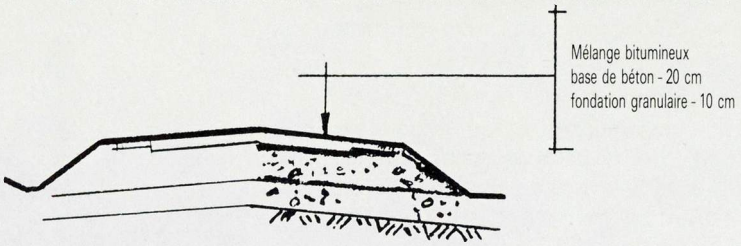
Notons qu'à une marge sécuritaire de manoeuvre près, les largeurs des voies de circulation des chaussées reflètent les largeurs maximales d'emprise des véhicules qui les empruntent. La largeur minimale d'une voie de circulation routière varie entre 3,00 à 3,75 m selon la catégorie de chaussée. Celle d'une voie d'accès est de 9 m ou 23 m pour les petits et grands aéroports respectivement; une piste d'envol a au moins 23 à 60 m de largeur.

Il n'existe généralement pas de voie de circulation matérialisée dans les terminaux marins: comme l'illustre la figure 4c la surface de la chaussée est subdivisée selon les besoins en allées de circulation et en zones de stockage de conteneurs.

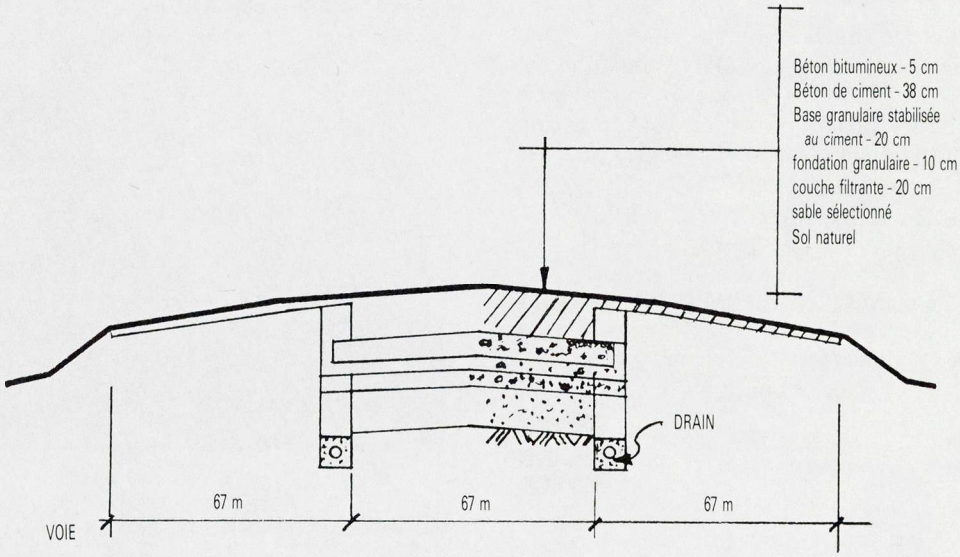
Les structures de chaussées de terminaux marins et des aéroports sont beaucoup plus épaisses que celles des chaussées routières car elles doivent supporter des charges plus lourdes. Par ailleurs, comma la plate-forme des deux types de chaussées est très étendue, elle requiert des dispositions particulières en matière de drainage.

Figure 4 SECTIONS TYPES DES TROIS GENRES DE CHAUSSÉES

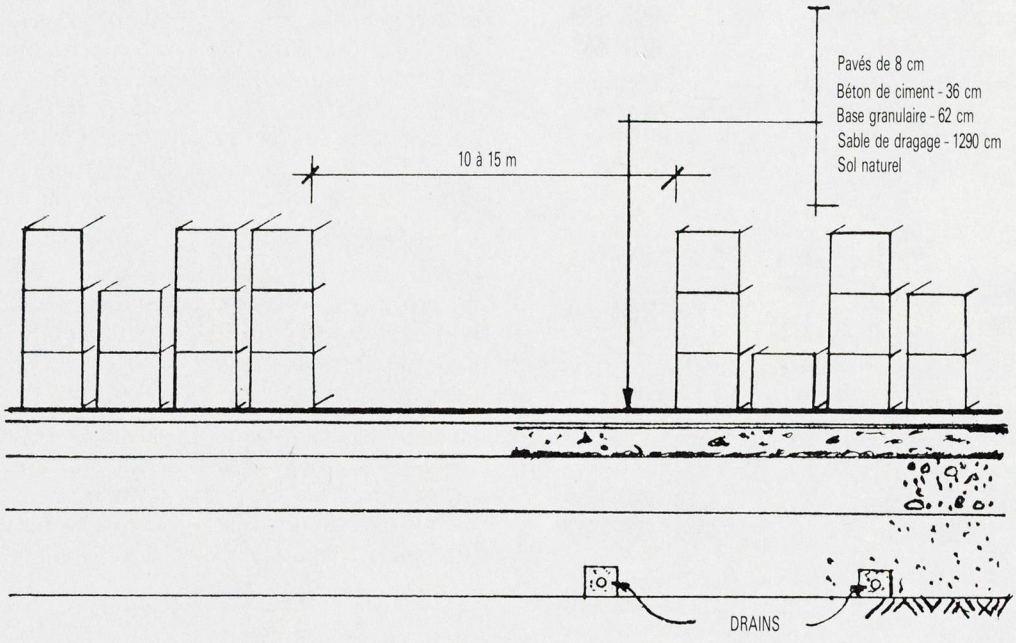
a) Chaussée routière
(Ville de Montréal)



b) Piste d'envol
(Aéroport Mirabel)



c) Voie de circulation dans un terminal marin
(Port de Montréal)



Distribution des charges à travers la voie de circulation

Le nombre de répétitions de charges de roue dans la partie la plus sollicitée de la surface de la chaussée doit normalement servir au dimensionnement des chaussées; il dépendra non seulement de l'arrangement des roues des différents types de véhicules qui seront utilisés mais aussi de leurs mouvements qui dépend du mode d'exploitation.

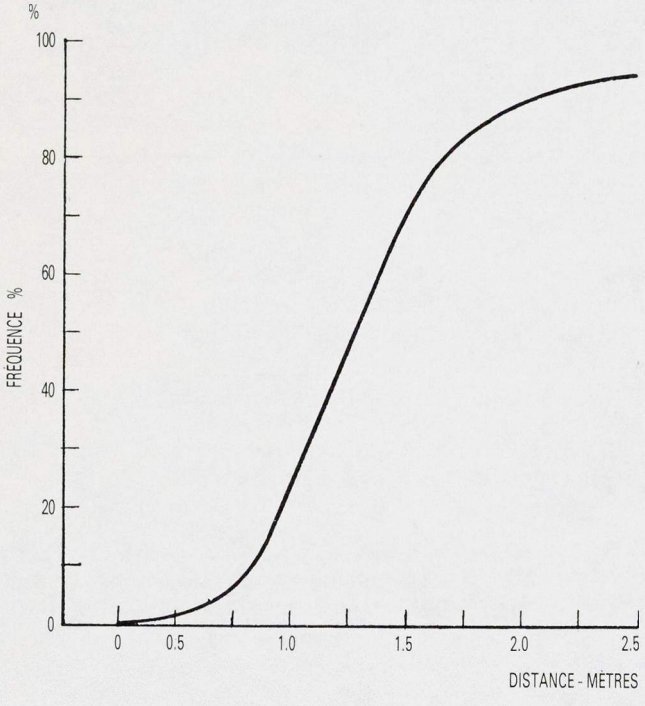
Il existe des statistiques concernant la distribution des charges à travers les voies de circulation pour des chaussées routières et aéroportuaires. Par contre, il n'en existe par pour les chaussées de terminaux marins.

a) Chaussées routières

Un exemple type de distribution transversale moyenne des centres des roues de droite des véhicules commerciaux par rapport au bord droit de la chaussée est illustré sur la figure 5; on constate que le plus grand nombre de passages de roues se produit sur un bandage s'étalant de 1,5 m à 2,5 m du bord de la chaussée. L'intensité du trafic diminue rapidement et tend vers zéro à mesure qu'on se rapproche du bord de la chaussée.

ROUTES

Figure 5 DISTRIBUTION TRANSVERSALE MOYENNE DES CENTRES DES ROUES DROITES DES VÉHICULES COMMERCIAUX EN FONCTION DE LA DISTANCE AU BORD DROIT DE LA CHAUSSÉE



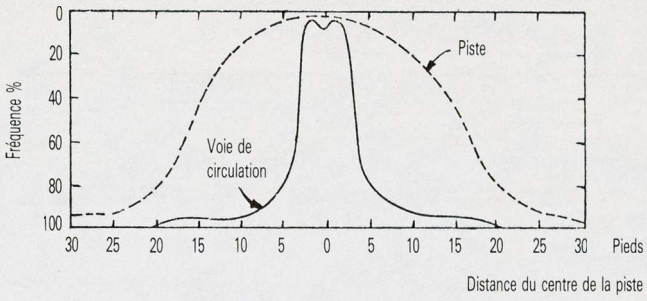
(selon A. de Henau, réf. 7, p. 42)

b) Chaussées aéroporturaires

Une distinction type du trafic constitué par des roues doubles jumelées en travers d'une piste d'envol ou une voie de circulation est illustrée sur la figure 6; on constate que le trafic est concentré dans une bande de 4 m pour les voies de circulation, et une bande de 12 m pour la piste d'envol.

AÉROPORT

Figure 6 FORME DE LA DISTRIBUTION DU TRAFIC D'UN SYSTÈME DE ROUES DOUBLES JUMELÉES EN TRAVERS D'UNE PISTE OU D'UNE VOIE DE CIRCULATION



Distance du centre de la piste

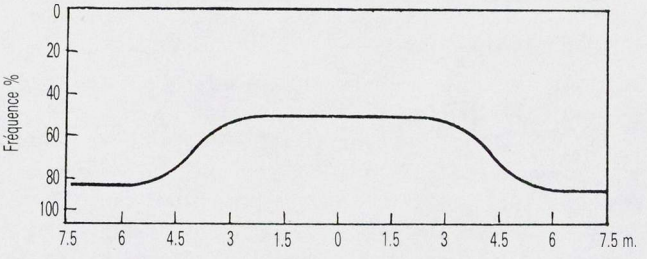
c) Chaussées des terminaux marins

Les chargements appliqués à la chaussée sont dûs aux passages des véhicules en circulation et à des mouvements dynamiques d'opération. Le trafic en déplacement est presque uniformément distribué dans l'allée de circulation. Les déplacements d'opération sont plus localisés dans le voisinage et dans les zones de stockage.

Ainsi une représentation qualitative type de la forme de distribution des chargements par rapport au centre de l'allée d'environ 12 m de largeur est donnée à la figure 7. Les régions de la chaussée qui reçoivent le plus grand nombre de chargements ne sont pas nécessairement les allées de circulation. L'estimation du trafic dans un terminal marin nécessite une analyse attentive des modes opératoires des véhicules impliqués.

TERMINAL MARIN

Figure 7 FORME QUALITATIVE DE LA DISTRIBUTION DU TRAFIC DES ROUES DE VÉHICULES EN TRAVERS D'UNE ALLÉE DE CIRCULATION



Distance du centre de l'année de circulation

PROBLÈMES DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES

La structure d'une chaussée doit normalement être calculée avec les données des charges (nombre et intensité) et celles des caractéristiques des sols et matériaux (modules et coefficient Poisson) qui peut varier avec l'environnement (température, précipitation, drainage). En ce qui concerne les charges, elles peuvent être groupées en 3 catégories:

Les charges des véhicules de transfert (tracteurs avec remorques, châssis, systèmes LUF « ligting unit trame ») qui assurent les rentrées et sorties de conteneurs par rapport au terminal ainsi que leurs déplacements sur de longues distances à l'intérieur du terminal. Pour fins de cal-

cul, les véhicules de transfert peuvent être caractérisés comme suit:

- deux à cinq essieux simples et jumelés;
- charge par roue: 20 à 80 KN;
- pression de pneu: 0,6 à 2,0 MPa;
- vitesse de déplacement: 0 à 25 km/h.

Les charges des **véhicules de stockage (portiques de stockage)** qui sont utilisés dans les grands terminaux sur de vastes zones de stockage. Leur grande portée (20 à 30 m de largeur) permettent d'effectuer efficacement des opérations le long de bandes de stockage de conteneurs. Les caractéristiques particulières des charges des portiques sont:

- une roue unique par chacune des quatre jambes
- charge par roue: 200 à 500 KN
- pression de pneu: 0,7 à 1,0 MPa
- vitesse de déplacement: 0 à 10 km/h

Les charges des **véhicules de manutention et de reprise (chariots élévateurs, chariots cavaliers)** qui servent aux opérations rapides d'entreposage et de chargement des véhicules de transfert dans les zones de stockage. Ceux-ci sont préférés aux portiques de stockage lorsque les opérations se déroulent sur des rangées de facade de l'empilage de containeurs. Leurs caractéristiques de sollicitation sont les suivantes:

- deux essieux simples
- charge par roue: 100 à 250 kN
- pression de pneu: 0,7 à 1,2 MPa
- vitesse de déplacement: 0 à 10 km/h

En ce qui concerne **les surcharges d'exploitation,** on estime à 250 KPa et 350 KPa les pressions appliquées par les appuis des conteneurs de 6,1 m (20') et 12,2 m (40') respectivement pour chaque couche (ou lit) d'entreposage. Le gerbage se fait généralement à 3 ou 4 couches de conteneurs dans les terminaux de type moyen à grand, ce qui produit sous les appuis des conteneurs du lit inférieur des pressions variant entre 250 KPa et 1 400 KPa.

Ces fortes pressions peuvent être appliquées pour de très longues durées (quelques heures à plusieurs jours) entraînant ainsi le poinconnement du revêtement bitumineux de la chaussée (figure 8 et 9). Pour le dimensionnement des chaussées, il est plus pratique de ramener les diverses charges en un nombre équivaleur de passages d'une charge normalisée. À cet effet, le PAWL (Port Area Wheel Load) qui est une charge de 12 000 kg avec une pression de contact de 0,8 N/mm^2 qui cause un dommage équivalent est souvent utilisé. Il s'en suit que l'expression suivante peut être utilisée pour évaluer le facteur équivalence d'une charge d'un type de véhicule ou d'un type de conteneur donné.

$$FE = \left(\frac{P}{12\,000}\right)^m \times \left(\frac{p}{0{,}8}\right)^n$$

où:

P est la charge sur roue d'un type de véhicule donné,

p est la pression pneumatique correspondante et

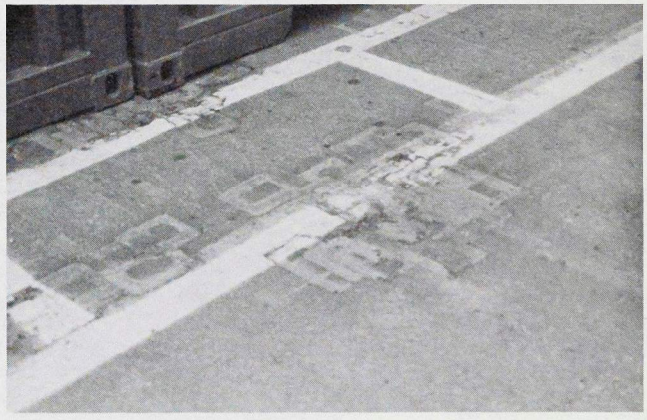
n et m des constantes.

Notons que Henkelom et Klomp (3) suggèrent d'utiliser respectivement des constantes de 3,75 et 1,25 pour m et n. Plusieurs auteurs ne sont pas d'accord sur ces valeurs (4).

Figure 8 STOCKAGE DE CONTENEURS - 7 lits



Figure 9 POINÇONNEMENT DU REVÊTEMENT PAR LES APPUIS DES CONTENEURS



Par ailleurs, étant donné que la distribution **des charges et la nature des charges** (giration, accélération, freinage, etc.) sont variables d'un endroit à l'autre du terminal et même à l'intérieur d'une voie, il importe d'une part, de décider, en termes de probabilité d'atteindre un niveau de comportement donné, le nombre de répétitions de la charge normalisée pour lequel on effectuera le calcul et d'autre part d'apporter une correction pour tenir compte de la nature des charges. Dans un design rationnel, **les matériaux et le sol** doivent être caractérisés en fonction du ou des modes et des conditions de sollicitation anticipés. Car leurs caractéristiques peuvent dépendre d'un certain nombre de facteurs qu'on ne peut pas négliger, tels la température, la teneur en eau, l'intensité de la charge, la vitesse de charge, l'état des contraintes, etc.

Dans le cas des sols et matériaux des chaussés des ports de conteneurs, tous ces facteurs peuvent avoir une influence sur les caractéristiques des matériaux de l'un ou l'autre couche de la chaussée. Par exemple, en supposant que la vitesse de charge est de 0,02 seconde pour les routes et de 0,2 seconde pour un port de conteneur et que la température moyenne est de 20° C le module de déformation du revêtement passera de 4000 MPa (580 000 psi) à 600 MPa (87 000 psi). Par ailleurs, si la température baisse à 0° C les valeurs seront respectivement d'environ 16 000 MPa (2 320 000 psi) à 6 000 MPa (870 000 psi).

Dans un design rationnel, la chaussée est généralement dimensionnée pour que le revêtement résiste à **la fatigue sous charges répétées** et qu'en même temps le

sol n'accumule pas trop de déformations permanentes. Au sein de la chaussée portuaire, les sollicitations en compression et en fatigue sont caractérisées par de hauts niveaux de contrainte et de longues durées de chargement qui soumettent les matériaux tantôt à un fluage dynamique, tantôt à un fluage statique de longue durée. Sachant que le comportement d'un matériau tend vers l'élasticité sous des sollicitations dynamiques de courtes durées puis vers la viscoélasticité sous sollicitation statique durable, on réalise que la chaussée d'un terminal marin adopte l'un ou l'autre type de comportement ou une combinaison des deux selon les conditions climatiques (température) et environnementales (humidité). Les méthodes de dimensionnement des chaussées de route et d'aéroport sont généralement basées sur l'élasticité linéaire assumant ainsi de courtes durées de chargement. Leurs applications à l'analyse structurale des chaussées des terminaux marins s'avèrent donc non appropriées à plusieurs points de vue.

PRATIQUES USUELLES ACTUELLES EN MATIÈRE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES PORTUAIRES - RÉSULTATS D'ENQUÊTE

But de l'enquête

Le Centre de Recherche et de Contrôle Appliqué à la Construction Inc. (C.R. C.A.C. Inc.) a récemment réalisé une enquête sur les pratiques en usage en matière de dimensionnement des chaussées portuaires. Le but principal de l'enquête était d'identifier les méthodes de conception sinon les normes d'épaisseur en usage et aussi d'identifier les principaux problèmes de comportement.

Description de l'enquête

Trois catégories de questions ont été adressées aux organismes, concernant: a) le type de chaussée (nature du revêtement); b) la méthode de conception et la structure adoptée (épaisseur des différentes couches de matériaux); c) son comportement (niveau de sévérité des défaillances observées). L'enquête visait les régions nordiques d'Europe et d'Amérique. Au total vingt-six (26) organismes d'exploitation portuaire répartis sur les deux continents ont été sélectionnés et consultés. Treize des organismes interrogés ont répondu au questionnaire. Il s'agit notamment de:

- Maryland Port Administration,
- Port of Portland Commission,
- Maine Port Authority,
- The Port Authority of New-York and New-Jersey,
- Port of Gothenburg Harbour Board,
- Port of Copenhagen Authority,
- Virginia Port Authority,
- Cleveland Cuyahoya Country Port Authority,
- Rotterdam Municipal Port Managment,
- Port of London Authority,
- South Carolina State Ports Authority,
- Harbour Management, Alter Steinweig 4, Deutschland,
- Bureau of Ports and Harbours, Japan.

Résultats de l'enquête et discussion

Les données fournies par les organismes répondants sont rassemblées dans deux tableaux. Le tableau I met en évidence la méthode de conception de la chaussée, le véhicule ou la charge de design ainsi que la structure et les épaisseurs adoptées. Le tableau II présente les paramètres caractéristiques du comportement de la chaussée.

Sur le tableau I, on peut voir que cinq (5) des treize (13) organismes répondants utilisent des méthodes de conception développées pour l'analyse structurale des chaussées routières et aéroportuaires pour le dimensionnement des chaussées portuaires. Les autres organismes n'adoptent pas de méthode de conception élaborée. Ils se basent sur des données empiriques pour choisir la structure des chaussées. Il appert qu'il n'existe pas de méthode de design rationnelle développée pour tenir compte convenablement des conditions spécifiques d'exploitation de la chaussée portuaire. Par ailleurs une méthode est en développement en Angleterre et sera publiée sous peu.

Le tableau II montre que les principaux modes de défaillance des chaussées routières et aéroportuaires se retrouvent dans les aires portuaires. Des problèmes de fissuration, d'orniérage et de déformation sont rapportés à des niveaux de sévérité mineurs et moyens. De plus, on observe quelques problèmes particuliers aux aires portuaires tels que la décomposition et la dégradation des revêtements bitumineux dûs au déversement d'huile à la surface de la chaussée par les véhicules. Un autre problème généralement observé à la surface des chaussées à revêtement bitumineux est le poinçonnement causé par les appuis des conteneurs durant l'entreposage.

Les charges excessivement lourdes des véhicules, leurs déplacements relativement lents, peu canalisés et souvent giratoires, les surcharges statiques d'exploitation sont d'autres éléments de considération des particularités de la chaussée portuaire dont on dont tenir compte dans une perspective de rationalité. Il n'existe pas de normes d'épaisseur pré-établies pour les chaussées portuaires en fonction d'un véhicule de design donné. Dans chaque cas de nécessité, la méthode de conception empruntée au domaine routier ou aéroportuaire est utilisée pour déterminer les épaisseurs de matériaux requis par suite de certaines adaptations. La majorité des organismes répondants exploitent des chaussées à revêtement bitumineux. Les revêtements de pavés et de béton sont moins utilisées, du moins dns les régions couvertes par l'enquête. Une attitude générale de conservatisme se dénote chez les organismes qui préfèrent construire à l'avenir une chaussée de même type que l'actuelle.

CONCLUSION

Une comparaison entre les chaussées pour routes, pour aéroports et pour les ports maritimes de conteneurs ainsi qu'une étude sommaire du problème de dimensionnement des chaussées pour ports maritimes ont permis d'établir l'inéquation entre les approches de conception à utiliser pour les trois modes d'utilisation des chaussées. Par ailleurs, la quasi-inexistence de méthodes rationnelles développées pour tenir compte des particularités de la chaussée portuaire à conteneurs a été établie par cette enquête. Il est donc évident qu'il existe un besoin de recherches susceptible de conduire au développement d'une méthode rationnelle de conception des chaussées pour port à conteneurs, vérifiée par la pratique.

Tableau I: RÉSUMÉ DES COUPES TYPES DES CHAUSSÉES

Composition de la chaussée	Dot Maryland	Port of Portland	Maine Dot	New-York	Gothenburg	Copenhague	Virginia	Cleveland	Amsterdam
Surface de bitumineux	5 1/2 po	2 po	2 po	2-4 po	3.1 po	1.6 po	1 1/2 po	4 po	4.7 po
Fondation	5 po granulat stabilisé à l'émulsion	granulat stabilité 20 po	blocs de 5" x 10"	granulat 4 po	granulat 3.1 - 3.9 po	granulat 5.5 po	granulat 3 1/2 po	granulat 4 po	sable ciment 13 po
sous-fondation	granulat 12 po	nil	gravier 3 à 4 pi	granulat 6 po	granulat 31 - 39 po	granulat 23 po	granulat 6 - 12 po	granulat 6 po	sable compacté 39-59 po
Sol	-	sable	remblai	sable	remblai	variable	sable	renblai	
Épaisseur totale	27.5 po	22 po	60 po	12-14 po	34-43 po	30 po	11-17 po	14 po	-
Méthode de conception	AASHTO (72)	Analyse Rationnelle	-	Asphalt Institute	-	NRRL Danemark	VDH&T		
Véhicule	Portique 2782	Portique et grue	Grue 80000 lb			Portique	Charge légale		

Composition de la chaussée	Port de London	Port de South Carolina				
Surface	4" mélange bitumineux	13" minimum béton	3" minimum mélange bitumineux	11" minimum béton	2" minimum mélange bitumineux	2" minimum mélange bitumineux
Fondation	10" béton		12" minimum béton compact		4" mélange bitumineux	4" minimum mélange bitumineux
Sous-fondation	6 pi gravier	2" sol compacté		4" sol compacté	10" max. béton	6" minimum matériau stabilisé
sol	argile molle	sable sur marécage	sable sur marécage	sable sur marécage	sable sur marécage	sable sur marécage
Épaisseur totale	14"	15" min	15" min	15" min	16" max	12" min
Méthode de conception	Basée sur l'expérience	nil	nil	nil	nil	nil
Véhicule de design	Camions avec remorque	nil	nil	nil	nil	nil

Tableau II: DÉGRADATION DES CHAUSSÉES

(E) beaucoup (M) moyennement (S) peu (N) nil (-) pas de réponse

Défaut	Maryland USA	Portland USA	New York containers USA	New York USA	Gotherburg Suède	Copenhangen Danemark	Virginia USA	Cleveland USA	Rotterdam	Port of London
Décomposition	-	S	S	M	S	-	S	S	S	S
Fissuration	S	S	S	M	S	M	M	M	nil	S
Orniérage	S	M	N	M	M	-	S	S	nil	E
Déformation	S	S	N	M	S	M	S	M	S	S
Intentation	-	M	N	S	M	M	M	S	nil	E
Dégradation par l'huile	-	S	N	S	S	-	S	S	nil	M

RÉFÉRENCES

1. **A. de Henau, «Véhicules et circulation dans le cadre du dimensionnement des chaussées», La Technique Routière, vol. XII / 1, pp. 1-19, mars 1967.**
2. **Hode Keyser, J., «Chaussées pour aéroports», Centre de Recherche et de Contrôle Appliqué à la Construction Inc., 1978, Montréal.**
3. **Henkelom and Klomp,. «Consideration of calculated strains at various depths in connection with the stability of Asphalt Pavements». Proceedings 2nd Int. Conf. on Structural Design of Asphaltic Pavements, 1978, pp. 107-123.**
4. **OECD Symposium on the Effects of Heavy Vehicles, 1976, en trois volumes.**
5. **Chandler, Mossmith. «Analysis of Container Terminal Pavements». ARR, Vol. 12, No 1, March 1982, pp. 3-11.**

CRITERIA FOR REMOVING TRAFFIC SIGNALS

par J.L. Kay et Al.
Federal Highway Administration
FHWA / RD-80 / 104 - Septembre 1980

Les systèmes de contrôle de feux de circulation sont utilisés aux intersections pour répartir et régulariser l'écoulement de plusieurs courants de circulation venant en conflit. Comme les feux de circulation fournissent le maximum de contrôle à un carrefour, le public en général a assumé, avec erreur, que ce type de contrôle est la panacée pour tout problème de sécurité aux carrefours.

Par conséquent, dans plusieurs municipalités, dû au manque d'expertise en génie de transport ou aux pressions politiques, ou aux deux, les feux de circulation ont été installés à des carrefours où ils ne sont pas justifiés. Il en résulte que l'on obtient à ces endroits un accroissement des arrêts, des délais et de la consommation d'essence et, dans beaucoup de cas, une augmentation dans le nombre des accidents, surtout du type collision-arrière. Pour les juridictions opérant avec des budgets austères, le remplacement de feux de circulation non justifiés par des contrôles avec enseigne « ARRÊT » pourrait se traduire par des économies importantes à ne pas négliger.

Ce rapport présente les résultats d'une étude pour établir les critères qui pourront servir de normes pour l'enlèvement des systèmes de contrôle de feux de circulation existants. Les critères pour l'enlèvement des feux ont été basés en grande partie sur l'expérience acquise par des cas précis analysés en une sorte de jurisprudence, comme ça se fait dans le domaine légal.

Les cas où un résultat favorable fut réalisé par l'enlèvement des feux ont servi à identifier les critères et les conditions sur lesquels d'autres feux devaient être enlevés. De la même façon, les cas qui ont produit des résultats désavantageux ou ceux dont les tentatives d'enlèvement n'ont pas réussi ont été examinés pour identifier les conditions ne permettant pas l'enlèvement des feux.

La méthodologie employée dans cette recherche a été de compiler les expériences antérieures relatives à l'enlèvement des feux à plus de 200 intersections dans 31 entités politiques différentes situées aux États-Unis, de faire le sommaire et l'analyse de cette information afin de produire une base de données objective pour l'établissement des critères d'enlèvement des feux.

Le processus de décision a été conçu pour permettre à l'ingénieur en circulation de prédire les effets probables résultant de l'enlèvement des feux de circulation à une intersection donnée. En analysant ces données en fonction de la sécurité du carrefour, son opération, la conservation de l'énergie et les coûts, l'ingénieur en circulation sera en mesure de prendre une décision technique saine à ce sujet. Les critères tiennent compte également des contraintes politiques qui modifient les considérations techniques.

Ce volume est divisé en neuf chapitres, lesquels traitent en détail les éléments suivants :

1. la collecte des données;
2. les caractéristiques du processus d'enlèvement des feux selon les structures de chaque organisme (les programmes d'enlèvement, le choix des endroits; les critères d'enlèvement; les autorités mandatées pour régir l'enlèvement; les contrôles intérimaires tels que le clignotement ou le recouvrement des lanternes; l'avis au public; les stratégies utilisées dans les différentes municipalités, les répercussions légales, etc.);
3. les effets sur les accidents, les arrêts, les délais et la consommation d'essence et les coûts;
4. l'analyse des tentatives d'enlèvement non réussies et les raisons pour leurs échecs;
5. le processus de décision; et
6. l'établissement de lignes de conduite pour l'application des procédures d'enlèvement.

Pour s'assurer que les résultats de cette étude soient d'une utilité pratique, un guide séparé a été préparé décrivant les principales découvertes, les critères d'enlèvement et les lignes de conduite pour l'application des procédures. Ce rapport s'adresse surtout aux gestionnaires et aux ingénieurs praticiens qui ont la responsabilité de prendre les décisions objectives à ce sujet et d'en faire les recommandations.

Réjean Denoncourt

MODELLING AN INTERMODAL TRANSFER SYSTEM: THE CASE OF EXPORT GRAIN TERMINALS

par: Stephen Fuller, Pruchya Puimsomboon, Mechel Paggi, et Donald Phillips.
The Logistics and Transportation Review / vol. 19-3 / 1983.

Pour la majorité des systèmes de distribution physique de marchandises, les coûts des opérations associées aux systèmes de transfert intermodaux constituent une composante essentielle des coûts de mise en marché. En particulier, pour de nombreux pays exportateurs de céréales, l'efficacité des activités portuaires est un élément critique de l'efficacité et donc du coût de l'ensemble de la chaîne de distribution.

L'article de S. Fuller et de ses collègues présente un modèle mathématique de simulation des activités associées à un complexe portuaire faisant le lien entre un réseau ferroviaire et un réseau de transport maritime. Le premier réseau a pour fonction la collecte de céréales à l'intérieur du pays considéré, et le second assure sa distribution vers l'étranger. Le port maritime est associé à une gare de triage, le tout ayant pour fonction la répartition des différentes catégories de céréales, leur déchargement à partir des trains et leur embarquement à bord des navires.

Le modèle est conçu de façon à analyser l'efficacité des opérations portuaires, y compris celles immédiatement en amont des débarquements / embarquements et celles en aval. Cela signifie que le modèle simule (i) le mouvement des céréales depuis les producteurs à l'intérieur des terres jusqu'au port, (ii) les opérations de triage, déchargement, stockage et chargement au port, (iii) le mouvement des navires vers et à partir du port.

Le problème fondamental auquel s'attaque ce modèle est de nature strictement économique. Il s'adresse à la détermination des capacités optimales du port (capacité de chargement, capacité de déchargement, capacité de stockage, etc...), c'est-à-dire à l'arbitrage qu'il faut réaliser entre les coûts d'investissement liés à ces capacités et les coûts associés aux retards encourus par les transporteurs (trains, navires) lorsque ces capacités sont insuffisantes. Cette définition du problème simplifie la situation en cause, mais elle résume l'essentiel des questions auxquelles s'adressent les auteurs, c'est-à-dire : évaluer le niveau de congestion du système de transfert intermodal pour différents volumes d'exportation (et donc les coûts liés aux retards), et évaluer l'efficacité économique de différentes augmentations des capacités d'opération du système en question.

Le modèle présenté est de nature stochastique. Cela signifie qu'il prend en considération la nature aléatoire (probabiliste) des nombreuses activités et des nombreux paramètres constituant le système à l'étude : intervalles d'arrivée des navires, vitesses de manutention, capacités des navires et des trains, temps de transit au port, etc. Le modèle est également de nature prédictive en ce sens qu'il rend compte des décisions qui interviennent à différents moments du processus de transfert : choix des priorités à donner aux différentes catégories des céréales, choix des transferts à réaliser compte tenu des demandes et des arrivées, etc.

Le présent résumé ne peut faire état de toutes les diffultés et de toutes les conclusions présentées dans l'article. Nous nous sommes limités à mettre en évidence le type de problématique et la nature de l'instrument mathématique en question.

Soulignons deux conclusions principales que les auteurs mettent eux-mêmes en exergue.

1. Les coûts de congestion augmentent de façon significative lorsque le volume de marchandises transférées des trains aux navires dépasse un certain seuil.
2. Différents investissements bien sélectionnés pour réduire la congestion peuvent être économiquement rentables, dépendant du volume annuel de marchandises transférées.
3. La capacité de chargement des navires constitue l'élément le plus critique (le plus sensible) de l'efficacité du système de transfert intermodal considéré.

Christian Lardinois

MANUAL OF TRAFFIC SIGNAL DESIGN

par James H. Kell et Iris J. Fullerton
Institute of Transportation Engineers - 1982

Les feux de circulation exercent une profonde influence sur l'écoulement de la circulation et peuvent opérer à l'avantage ou au désavantage des véhicules ou piétons qu'ils contrôlent. Conséquemment, l'application, la conception, l'installation, l'opération et l'entretien adéquats des feux de circulation sont des éléments critiques au mouvement ordonné de la circulation à un endroit spécifique où une augmentation à la capacité de l'intersection est désirée. Le but premier de ce manuel est de présenter les concepts fondamentaux et les normes acceptées dans la pratique en relation avec la conception des aménagements de feux de circulation conformément aux règles de l'art.

Ce manuel est structuré de façon à obtenir un avancement équilibré entre les décisions, les activités et les fonctions reliées à la conception et à l'opération ultime des feux de circulation. Fondamentalement, ceci implique l'analyse et l'évaluation des besoins de signaliser un endroit défini, l'identification des besoins de l'endroit à signaliser, la transformation de ces besoins en termes d'équipements requis, la préparation des plans, les spécifications et l'estimation des coûts pour la fourniture et l'installation de l'équipement, l'opération et l'entretien des feux de circulation durant leur vie utile.

Le chapitre 1 explique au lecteur que les différents cas seront traités en passant progressivement d'une situation simple aux plus complexes. On fournit des exemples pratiques de l'application des différentes procédures avec feuilles de travail, plans et illustrations. Le reste du chapitre d'introduction discute des différentes sources réclamant une signalisation par feux.

Le chapitre 2 mentionne les activités nécessaires pour déterminer si oui ou non la signalisation à un endroit donné est justifiée ainsi que l'ordre d'importance considérant les autres localisations possibles. Le procédé de conception commence par la préparation d'un plan de base. Les éléments du plan de base sont discutés au chapitre 3 en même temps que les étapes techniques et formats généralement utilisés dans le développement de ce document préliminaire.

Prenant comme hypothèse que l'installation des feux de circulation est justifiée, la prochaine étape, telle que décrite au chapitre 4, est de définir le type d'opération requis, de choisir le réglage approprié, de les comparer avec d'autres solutions comme des améliorations géométriques. Ces décisions sont nécessaires pour fournir les éléments de base requis pour procéder à la conception du signal.

Le chapitre 5 traite de la pose des signaux en termes de visibilité, de facteurs de localisation et de considération pour les montages. On souligne l'importance des normes de conception qui touchent la position, la visibilité de ces signaux pour une opération adéquate et perceptible. On élabore ensuite, dans le chapitre 6, sur le choix du contrôleur. Celui-ci devrait correspondre aux besoins spécifiques et comporter les éléments appropriés au fonctionnement requis. On en présente différents types parmi lesquels on peut faire un choix judicieux selon les principes exposés.

Le chapitre 7 décrit les types de système de détection et les équipements utilisés avec les contrôles de type adaptatif. On inclut les facteurs d'application et d'installation qui devraient être considérés en relation avec les données requises et les caractéristiques opérationnelles du contrôleur. L'emphase est placée sur le design des configurations pour les systèmes de détection à petite ou à grande superficie.

Ensuite, au chapitre 8, on présente les problèmes de la pose des câbles électriques et de la construction de leurs conduits. Le texte traite de la pose de câble aérien et souterrain, du type et de la grosseur des conducteurs et conduits et des besoins spéciaux pour la coordination des feux. Le tout se traduit concrètement dans les plans techniques de construction, les spécifications et l'estimation des coûts. On expose aussi en détail les procédures pour les soumissions publiques et la sélection de l'entrepreneur. Le chapitre 10 résume les points importants dans la surveillance des travaux et les procédures de mise en opération. Le dernier chapitre (chap. 11) présente les lignes de conduite pour le minutage et l'opération des feux.

Ce manuel résume les idées, l'expérience et la créativité de nombreux praticiens et a été conçu en tenant compte de ce qui a été fait dans le passé. Dans ce sens, c'est une synthèse de la connaissance pratique qui a fait ses preuves dans ce domaine. Ce manuel de référence s'adresse surtout aux praticiens et est disponible au bureau de l'I.T.E.

Réjean Denoncourt

WILL MULTIMODAL PASSENGER TERMINALS HELP TO MEET OUR TRANSPORTATION REQUIREMENTS TO THE YEAR 2000?

par Eric Darwin
Canadian Transportation Research Forum, Proceedings of the 18th Annual Meeting, Regina, Saskatchewan - June 1983

Au cours de la dernière décennie, les compagnies canadiennes de transport interrurbain de passagers par autobus et par chemin de fer ont vu leur part de marché se stabiliser, voire même diminuer. Cette situation les a amenées à s'interroger sur la pertinence de leur stratégie d'opération et de développement, et notamment sur l'intérêt de continuer à opérer dans une perspective unimodale. C'est dans ce contexte que le concept de gare multimodale de voyageurs (GMV) est devenu à l'ordre du jour; il fait référence à l'utilisation, par au moins deux modes de transport, des mêmes installations au point de départ, d'arrivée ou de transfert de passagers.

En 1980-1981, VIA Rail élabore des projets de GMV dans une dizaine de villes du pays, mais cela sans qu'ait été énoncée une véritable justification rationnelle de ces projets. C'est alors que Transport Canada décida d'explorer davantage l'utilité et la faisabilité de ces gares dans le cadre de l'ensemble du système de transport canadien. Constatant la difficulté d'utiliser les méthodes d'analyse traditionnelles telles les méthodes coût-bénéfice, notamment en raison du manque de données et de la nécessité de tenir compte des nombreux points de vue des différentes parties concernées (usagers, compagnies de transport, gouvernements, etc...), Transport Canada a opté pour une approche destinée à synthétiser et à présenter l'information nécessaire à la réalisation des arbitrages entre différents critères et parmi les diverses parties concernées; l'approche choisissait de laisser à ces dernières le soin de négocier la décision finale, selon chaque cas particulier. L'article de E. Darwin ne précise pas comment les avantages et inconvénients des GMV ont été effectivement évalués, mais il présente les principaux résultats à l'étude en mettant en évidence les arguments favorables ou au contraire défavorables aux GMV. La dernière partie de l'article de E. Darwin est consacrée à des précisions sur cette argumentation.

L'article fait également état des efforts entrepris par Transport Canada pour divulguer les résultats de son étude, ainsi que pour faire connaître, en termes très positifs, la GMV de Kapuskasing en Ontario, la seule GMV du pays. Les réactions furent quasi inexistantes.

E. Dawwin fait mention par ailleurs d'autres études réalisées au Canada, notamment à Montréal, dans les Maritimes, à Lévis et Trois-Rivières, à Régina, à Québec, etc... L'auteur souligne qu'aucun des cas considérés n'a conduit à la décision d'investir effectivement dans une GMV.

Il ressort de l'article de E. Darwin que la démonstration des avantages des GMV n'est pas simple. Les économies d'échelle et la plus grande efficacité que ces gares impliquent constituent, a priori tout au moins, les principaux bénéfices potentiels; la possibilité de voir l'utilisation des services de transport en commun augmenter est un autre avantage important. Par contre, les GMV ne peuvent constituer en aucune façon la solution de tous les problèmes; au contraire, elles peuvent souvent constituer des solutions simplistes, inutiles, très coûteuses, sans gain financier significatif pour aucune des parties concernées; les habitudes des transpor-

teurs à se spécialiser et à se concurrencer sont d'autres obstacles.

L'une des principales conclusions de l'article est de souligner que les décisions de construire des GMV pourraient résulter de nombreuses raisons qui n'ont rien à voir avec la fonction transport proprement dite, des raisons telles le soutien au développement urbain, la création, etc... C'est toutefois là où de nouvelles gares ou des relocations apparaîtront nécessaires que le concept de GMV sera réellement pris en considération et comparé à d'autres options.

Christian Lardinois

MISE AU POINT D'ESSAIS SUR GÉOTEXTILES

par Johanne Rouillard
Rapport de stage au ministère des Transports - 1983

Parmi les nouveaux matériaux utilisés en construction routière, les géotextiles constituent une innovation. Quoique utilisé en force au cours de la dernière décennie. Les principaux rôles des géotextiles sont: séparation, anticontamination, filtration, drainage, renforcement mécanique.

Un géotextile est généralement utilisé pour consolider et / ou améliorer le drainage d'un sol donné. Il doit permettre l'écoulement de l'eau au travers du système tout en retenant les particules de sol. Le géotextile n'est pas un substitut complet des matériaux granulaires habituellement utilisés, mais peut être incorporé aux ouvrages de génie de par les nombreux avantages qu'il offre tels que: un contrôle simple du produit, une facilité d'installation, une augmentation de la durée de vie de l'ouvrage, une économie de matériaux. L'utilisation d'un géotextile représente souvent une solution économique pour des applications spécifiques.

L'étude des géotextiles n'en étant qu'à ses débuts, on a donc encore tendance à utiliser les méthodes de contrôle réservés aux textiles pour évaluer les géotextiles. Cependant, les géotextiles sont soumis à des contraintes différentes et beaucoup plus élevés que les textiles communs. C'est pourquoi il est nécessaire de mettre au point des essais qui s'apparentent davantage aux propriétés requises et aux efforts sollicités chez un géotextile.

L'essai de permittivité, qui fait en grande partie l'objet de ce rapport, constitue l'un de ces essais. La permittivité ici étudiée, est celle du géotextile seul. Des détails concernant les essais de permittivité de géotextiles avec sols (effet de colmatage) et des géotextiles sous compression sont fournis en annexe. L'information concernant l'évaluation de la masse surfacique, l'épaisseur normale et la contrainte circonférentielle de traction ainsi que des détails concernant les essais de tension et de déchirement sont également fournis en annexe.

Pierre Langlois

DETERMINATION OF STRUCTURAL EQUIVALENCY FACTORS OF RECYCLED LAYERS BY USING FILED DATA

par Adriaan Van Wyk, Eldon J. Yoder et Leonard E. Wood
Low - Volume Roads: Third International Conference - 1983
Transportation Research Record 1984

Le recyclage des matériaux de chaussée est une méthode de reconstruction économique, tout en permettant de conserver l'énergie. Les résultats obtenus à date le prouvent. Aux États-Unis, près de 90% des revêtements de route et de rues sont composés de mélanges bitumineux. Leur recyclage revêt donc une importance capitale.

Le recyclage à froid procure une résistance structurale moindre que le recyclage à chaud et à un coût moindre. Il est donc particulièrement applicable aux routes secondaires ou à faible trafic. La valeur de la résistance des couches recyclées, ou coefficient structural, doit être connue pour procéder au dimensionnement du corps de chaussée. Un sous-dimensionnement peut conduire à des bris prématurés de la chaussée entraînant ainsi des coûts d'entretien élevés. D'un autre côté, le surdimensionnement est une source inutile de gaspillage de fonds publics. Traditionnellement, les ciments asphaltiques et les émulsions de bitume ont été utilisés dans le recyclage. Le bitume moussé est aussi prometteur car il offre l'avantage d'être mélangé à des températures plus basses que le ciment asphaltique et ne nécessite pas de séchage ou vieillissement comme l'émulsion. Durant l'été 1981, le Département de la voirie de l'Indiana a construit une section expérimentale de 15 km en utilisant un bitume émulsifié et un bitume moussé dans un projet de recyclage à froid sur une route à faible trafic. Différents essais ont été effectués avant, pendant et après la construction en vue de déterminer les propriétés du revêtement, de même que les facteurs d'équivalence structurale. On procéda à la mesure de l'indice CBR, à des essais sur des éprouvettes de la couche de base du revêtement recyclé et à des mesures de déflexion avec l'appareil Dynaflect. Les facteurs d'équivalence structurale furent établis à partir des résultats de ces essais et des propriétés déterminées.

G.-Robert Tessier

METHODOLOGY FOR EVALUATING INCREASE IN PAVEMENT MAINTENANCE COSTS THAT RESULT FROM INCREASED TRUCK WEIGHTS ON STATEWIDE BASIS

par Benjamin Colucci-Rios et Eldon J. Yoder
Transportation Research Record 900

Au moment de cette étude, les limites de charges axiales de l'État de l'Indiana étaient de 18 000 lb pour un essieu simple, de 32 000 lb pour un essieu double et de 73 280 lb pour la masse totale (GVW). Quant au Fédéral, les limites imposées au système Interstate et autres routes principales étaient de 20 000 lb pour un essieu simple, de 34 000 lb pour un essieu double et de 80 000 lb pour la masse totale. Le but de cette étude était d'évaluer les effets sur les coûts d'entretien des chaussées de l'augmentation des limites de charge actuelles pour atteindre celle du Fédéral. On y décrit la méthodologie développée pour évaluer l'accroissement des limites de la charge totale de 73 280 à 80 000 lb. Les recherches dans les archives ont permis de compiler les données sur les routes choisies. L'évaluation des sections de chaussées a été faite à partir des renseignements sur les poids des camions obtenus des postes de pesage, sur les sols et sur le comportement tiré d'études antérieures.

301 sections de routes ont été soumises à l'évaluation. Les différents types de chaussée considérés furent: Chaussée de béton avec armature continue; Chaussée de béton avec joint et armature discontinue; Chaussée souple; et Chaussée composite c'est-à-dire de béton recouvert d'enrobé bitumineux. Les sections de chaussée furent établies selon une classification fonctionnelle. De plus les chaussées ont été groupées sur une base régionale afin de tenir compte des conditions climatiques. Les estimés de coût sont présentés en dollars par voie par mille par année et en dollars par année pour les réseaux Insterstate et primaire (ayant plus de 4 000 véhicules par jour), et secondaire (ayant moins de 4 000 véhicules par jour).

G. Robert Tessier

TECHNOLOGIE DES GRANULATS

par: Pierre-Claude Aïtcin, Guy Jolicoeur et Michel Mercier
Éditions du Griffon d'Argile Inc.
2660, chemin Ste-Foy, Ste-Foy (Québec) G1V 1V2

Le livre « Technologie des granulats » a été initialement rédigé dans le but de fournir aux étudiants des sections de génie civil des collèges un outil qui leur permettra d'acquérir les connaissances théoriques et pratiques ainsi que les habiletés nécessaires à la fonction de technologue en génie civil.

Le livre comporte de nombreuses illustrations ainsi que des photos d'installations industrielles québécoises et d'appareils de laboratoire couramment utilisés par les laboratoires locaux. Chaque fois que cela a été possible, il est fait référence au cahier des charges et devis généraux du ministère des Transports du Québec.

Le dernier chapitre porte sur les essais sur les granulats. Il a été conçu en fonction des normes du Bureau de normalisation du Québec actuellement en vigueur (1er janvier 1983), normes auxquelles des compléments d'information ont été ajoutés dans le but d'offrir des explications supplémentaires afin de faciliter des essais. rt



Date de retour	Date de retour
1999 NOV. 01	

V-1024 (95-06)

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
Centre de documentation

L'emprunteur est responsable du retour en bon état de ce document.

Bibliothèque du Ministère des Transports
QTR A 015 841