



G1S 4A

GUIDE POUR LA CONSTRUCTION
ET LA REMISE EN ÉTAT
DES ROUTES À FAIBLE TRAFIC

REÇU
CENTRE DE DOCUMENTATION
MAR 27 1986
TRANSPORTS QUÉBEC

CANQ
TR
GE
SM
113
1986



Ministère des Transports
Direction des sols et matériaux
Service des sols et chaussées

470064

Date: 20 janvier 1986

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
~~200, RUE DORCHESTER SUD, 7e~~
~~QUÉBEC, (QUÉBEC)~~
~~G1K 5Z1~~

Ministère des Transports
Centre de documentation
930, Chemin Ste-Foy
6e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

GUIDE POUR LA CONSTRUCTION
ET LA REMISE EN ÉTAT
DES ROUTES À FAIBLE TRAFIC

Recherche et rédaction

Pierre De Montigny, ing.
Service des Sols et chaussées

Assistance technique:

René Robitaille, ing.
Service Assurance qualité

Guy Charbonneau, ing.
Programmation routière

Richard Langlois, ing.
Laboratoire central

Jean-Guy Paquin, ing.
Service Conservation des chaussées

Yvan Lavoie, ing.
Service des Opérations territoriales est

Bernard Caron, ing.
Service des Opérations territoriales est

CANQ
TR
GE
SM
11/3
1986

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
1 INTRODUCTION	1
2 ELEMENTS DE DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL	3
2.1 Généralités	3
2.2 Répartition des contraintes dans une chaussée	4
2.3 Recherche de la structure appropriée	8
2.4 Structure retenue	9
2.4.1 Routes non revêtues	9
2.4.2 Routes revêtues	13
2.4.3 Cas des réhabilitations	13
3 LES REVETEMENTS	17
3.1 Doit-on paver?	17
3.2 Revêtements à froid (généralités)	18
4 LE TRAITEMENT DE SURFACE	19
4.1 Définition	19
4.2 Modes d'emploi	21
4.2.1 Traitement simple	21
4.2.2 Traitement double	21
5 L'ENROBE A L'EMULSION	23
5.1 Analogies avec l'enrobé à chaud	23
5.2 Fabrication de l'enrobé à l'émulsion	25
5.2.1 Formule de mélange	25
5.2.2 Malaxage	26

(SUITE) TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
6 L'ENROBE AU BITUME MOUSSE	30
6.1 Historique	30
6.2 Fabrication	30
6.3 Pose du revêtement	31
7 AUTRES REVETEMENTS A FROID	32
7.1 Les enrobés ouverts	32
7.2 Les traitements de surface au gravier	34
7.3 Les bitumacadams	34
7.4 Le coulis de scellement	34
7.5 L'enduit à l'émulsion (fog seal)	35
8 EVALUATION DES REVETEMENTS A FROID	36
8.1 Les avantages	36
8.2 Les inconvénients	36
9 EXIGENCES	37
10 SOMMAIRE ET CONCLUSION	39

Références bibliographiques

Annexe

Guide pour la construction
et la remise en état
des routes à faible trafic

1 INTRODUCTION

La méthode québécoise de conception des chaussées flexibles a consisté jusqu'à maintenant pour une large part à choisir parmi cinq ou six sections-types, celle qui convenait le mieux à un sol de support et à une classe de route donnés. Cette technique, à la fois simple et pratique dans le cas des routes principales où il n'est fait usage que de matériaux conformes à des normes strictes et connues à l'avance, présente néanmoins des lacunes quand on l'applique aux routes à faible trafic. D'une part en effet, elle laisse croire que le paramètre trafic n'a que peu d'influence sur la structure à adopter puisque pour une même classe, les épaisseurs demeurent constantes sans égard au trafic. D'autre part, la méthode est complètement muette en ce qui a trait aux façons de tirer profit de certains matériaux locaux qui, bien que non conformes aux exigences du cahier des charges, peuvent fréquemment posséder des propriétés structurales bien supérieures à celles de l'infrastructure et mériter de ce fait qu'on évalue leur aptitude à accroître la portance de l'infrastructure et à permettre ainsi une diminution des épaisseurs de chaussées.

Les techniques de conception adoptées par plusieurs administrations routières hors du Québec, bien que susceptibles de conduire à des chaussées plus minces et moins chères n'ont pas, elles non plus, permis à

leurs promoteurs d'envisager, avec les budgets dont ils disposaient, une remise en état satisfaisante de leurs réseaux secondaire et tertiaire.

Cette incapacité d'effectuer chaque année les progrès qui permettraient de hausser la qualité moyenne du réseau routier à un niveau qui satisfasse certaines normes minimales n'est donc pas particulière au Québec; elle est au contraire commune à presque tous les pays industrialisés. Ceux-ci individuellement d'abord, y sont donc allés de leurs expérimentations et de leurs études afin de trouver une solution au problème qui les confrontait. Très tôt cependant, il leur est apparu qu'une mise en commun des connaissances ainsi acquises s'avérait nécessaire. Des congrès tenus ces dernières années aux Etats-Unis sont donc venus combler les attentes de plusieurs.

Le Ministère a voulu lui aussi faire le point sur ses propres expériences, tirer ses conclusions des progrès accomplis ici au Québec et ailleurs et indiquer une orientation qui puisse guider les concepteurs de projets au cours des prochaines années. Le présent document constitue un premier jalon dans cette direction. Il comprend deux parties:

- Une première décrit les caractéristiques structurales des couches granulaires qui composent une chaussée et indique de façon très sommaire comment on peut prévoir leurs épaisseurs dans diverses circonstances.
- La deuxième concerne le revêtement. On verra que ce dernier n'est pas toujours justifié sur une route à faible trafic et qu'avant d'y avoir recours, il convient d'explorer la possibilité d'utiliser un revêtement à froid.

2 ÉLÉMENTS DE DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL

2.1 Généralités

Les routes visées par le présent document sont nombreuses et couvrent un large éventail de terrains, de conditions environnementales et même de trafic. Les matériaux employés varient considérablement eux aussi étant donné que, plus encore que dans le cas des routes principales, les facteurs économiques forcent les maîtres d'oeuvres à privilégier les matériaux qui sont situés à proximité des travaux. Dans de telles circonstances, on comprend que pour faire des choix judicieux entre plusieurs matériaux de qualité et de prix différents, il faudrait d'abord les évaluer au moyen d'essais bien adaptés aux buts recherchés et analyser ensuite les résultats obtenus à la lumière des caractéristiques qui paraissent les plus importantes dans les conditions où ils sont employés (niveau de la chaussée, environnement, drainage, etc.).

Etant donné cependant qu'il n'est pas toujours possible au cours de la préparation d'un projet de s'appuyer sur un nombre suffisant d'essais ni même de compter sur les conseils d'experts, la chose la plus utile pour un concepteur reste probablement de posséder lui-même quelques notions de dimensionnement structural afin de mieux saisir la nature des problèmes auxquels il est confronté, de mieux solutionner ces problèmes et même d'obtenir au besoin une aide plus efficace, parce que mieux définie, de la part des services techniques qu'il pourrait être amené à consulter.

2.2 Répartition des contraintes dans une chaussée

Il peut être démontré que dans les chaussées qui sont constituées de gravier et de sable reposant sur une infrastructure plus faible que le sable, la répartition des contraintes verticales à divers niveaux de la chaussée est sensiblement celle indiquée aux courbes 1 et 2 de la figure 1. Un bref examen de ces courbes nous permet de formuler les commentaires suivants:

2.2.1 Même sous une roue double de camion transmettant à la chaussée la charge maximale permise en période de dégel (4000 kg) les contraintes verticales diminuent très rapidement jusqu'à une profondeur de 15 ou 20 cm. A 30 cm, elles ne sont même plus qu'environ 16% de celles qui prévalent en surface.

2.2.2 Lorsque l'on dit qu'une route n'a pas une capacité de support suffisante, cela signifie que la surface ploie trop sous le passage de poids lourds et qu'il s'ensuit à plus ou moins brève échéance une fissuration du pavage par fatigue. Cela signifie aussi qu'au passage de chaque poids lourd, il se produit un certain fluage horizontal qui, à la longue, tend à donner naissance au phénomène d'orniérage. Ce fluage peut se produire au niveau de l'infrastructure comme à celui de n'importe quelle couche de la chaussée. Il aura cependant tendance à se produire davantage là où les contraintes sont fortes par rapport à la résistance du matériau qui s'y trouve.

Il ne sert donc pas à grand-chose d'avoir recours à des matériaux forts en profondeur, là où les contraintes sont faibles, et il serait évidemment mal avisé de placer un matériau faible à proximité de la surface là où les

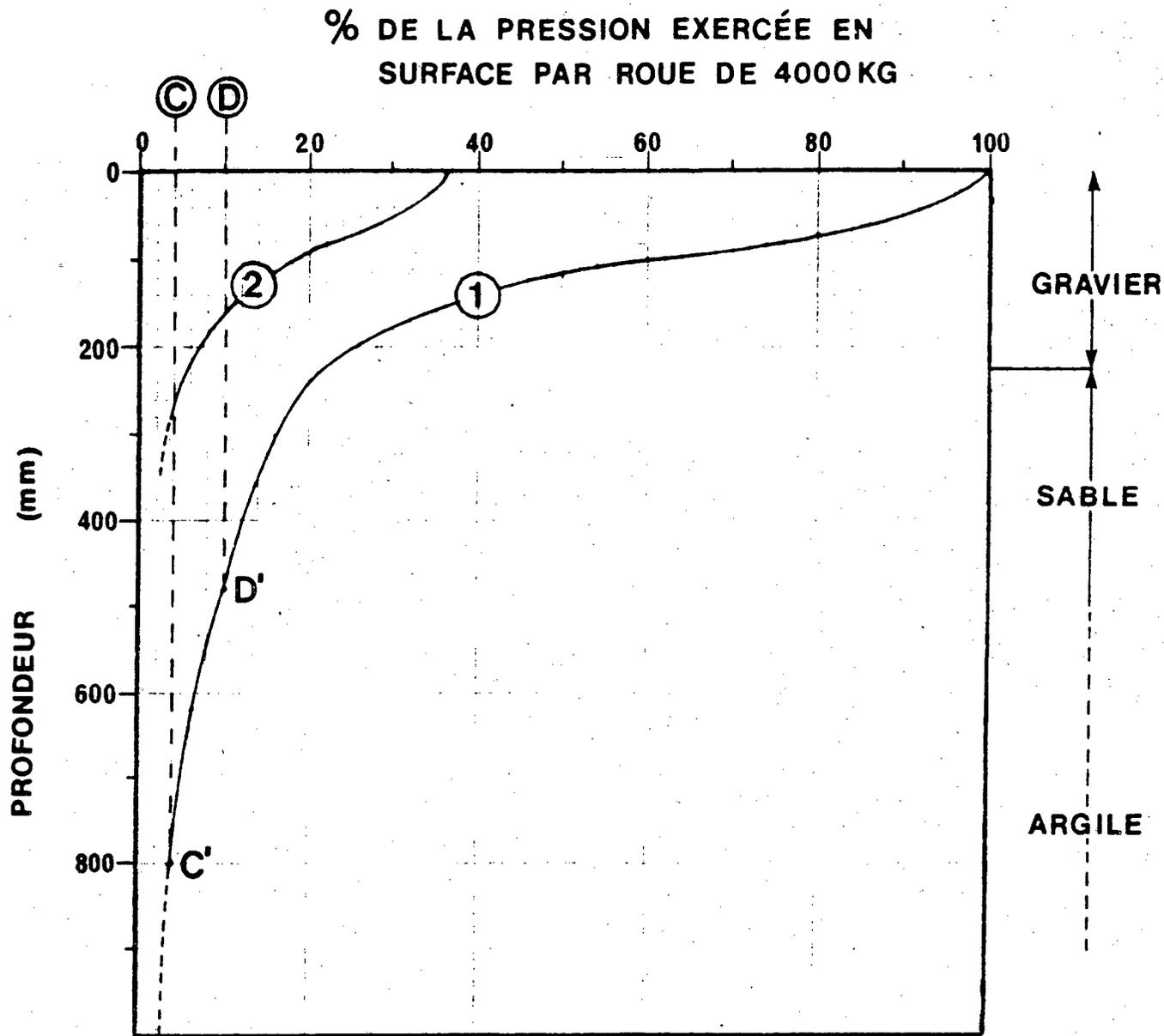


FIGURE 1 - Pression transmise à diverses profondeurs par:

- Une roue double de 4000 kg (courbe 1) munie de pneus gonflés à 560 kPa (80 psi) et reposant sur 225 mm de gravier et une sous-fondation de sable (Calcul selon Burmister, réf. 10, p. 41).
- Une roue d'automobile de 410 kg munie d'un pneu gonflé à 205 kPa (30 psi) et reposant sur les mêmes matériaux.

contraintes sont élevées.

2.2.3 Une réduction des épaisseurs de chaussées peut difficilement être envisagée à l'étape du dimensionnement si la réalisation sur le chantier ne se déroule pas selon les critères envisagés au départ par le concepteur et notamment si une attention spéciale n'est pas prévue au moment de la préparation de l'infrastructure. Il importe de noter que la chaussée a normalement une épaisseur juste suffisante pour réduire les contraintes au niveau de l'infrastructure à une valeur qui ne dépasse pas la résistance même de cette infrastructure. Une erreur dans l'évaluation de cette dernière peut donc entraîner des conséquences néfastes sur le comportement ultérieur de la chaussée ou conduire à des surdimensionnements coûteux.

La figure 1 indique par exemple qu'à une infrastructure de résistance "C" correspond une épaisseur minimale de chaussée de 800 mm (point C'). Si, par l'apport d'un sol de meilleure qualité que celui de l'infrastructure (pas nécessairement un emprunt A) et par une bonne densification, cette résistance est portée au niveau "D", l'épaisseur requise de matériau granulaire n'est plus que de 480 mm (point D'). Inversement, si, après avoir prévu une épaisseur de chaussée de 480 mm, l'entrepreneur néglige de corriger certains points faibles le long du parcours ou s'il ne prend pas suffisamment de soins pour éliminer les ornières et autres dépressions qui sont susceptibles de retenir les eaux d'infiltration, il s'ensuivra une hausse de la teneur en eau de l'infrastructure, un affaiblissement de cette dernière et un sous-dimensionnement qui pourrait être désastreux pour l'ensemble de la structure.

Pour toutes ces raisons, l'article 26.13.1 (édition 1981) du cahier des charges concernant la préparation de l'infrastructure doit toujours s'appliquer dans toute sa rigueur, particulièrement en terrain argileux ou silteux.

Si le respect de cette exigence s'avère difficile, il faut soit attendre que le sol de support ait séché suffisamment pour pouvoir le profiler et le densifier, soit le recouvrir d'un sol fin (emprunt ou déblai) plus facilement densifiable et apte à assurer une meilleure capacité de support que le terrain naturel sous-jacent.

Il ne faut jamais oublier en effet que c'est au niveau de l'infrastructure que se joue majoritairement la validité des hypothèses faites par le concepteur lors de la préparation d'un projet. C'est aussi grâce à une infrastructure bien profilée, homogène dans le plan horizontal et suffisamment forte qu'une bonne densification de la sous-fondation peut être atteinte sans danger de contamination et que peuvent par la suite être amoindries les pertes prématurées de qualité de roulement résultant tantôt de tassements différentiels, tantôt de soulèvements par le gel.

2.2.4 Sous les roues d'une automobile, les contraintes verticales ressenties à une profondeur donnée sont sensiblement égales à celles qui prévalent sous une roue de 4000 kg à une profondeur presque trois fois plus grande (fig. 1). Il est donc permis de conclure que du seul point de vue de la capacité de support, une route fréquentée uniquement par des automobiles pourrait, dans bien des cas, être presque trois fois moins épaisse qu'une autre soumise au même nombre de poids lourds.

2.3 Recherche de la structure appropriée

La figure 1 indique qu'à une profondeur d'environ 250 mm (courbe 1) la contrainte devient cinq fois plus faible qu'en surface. Cela signifie qu'à partir de ce niveau, l'emploi d'un sable au lieu d'un gravier devrait suffire attendu que la résistance (CBR) du sable est environ cinq fois plus faible que celle du gravier. Il est donc permis d'affirmer que pour une telle épaisseur de fondation supérieure (250 mm), la chaussée paraît parfaitement équilibrée, en ce sens que la tendance à l'instabilité ou au fluage sous une charge statique de 4000 kg est tout aussi prononcée au niveau du gravier qu'à celui du sable. Une augmentation de l'épaisseur du gravier pourrait donc n'apporter que très peu à l'ensemble de la structure puisque la même contrainte va continuer à exister au contact pneu-gravier et à y produire la même déformation même si celle produite au niveau du sable s'en trouve diminuée.

Si donc, une augmentation de la couche de gravier paraît peu justifiable, il y a lieu de se demander si elle ne pourrait pas être diminuée. A cela, il faut répondre par l'affirmative, surtout si l'on tient compte des facteurs suivants:

2.3.1 Les charges imposées par le trafic sont dynamiques, de très faible durée et n'occasionnent pas de déflexions aussi prononcées que les charges statiques. Les contraintes qu'elles génèrent diminuent donc elles aussi plus rapidement en profondeur que l'indique la figure 1. Ce sont en quelque sorte des chocs assez forts en surface mais qui s'atténuent rapidement en profondeur.

2.3.2 Il est permis d'allouer une déformation permanente plus forte sous chaque passage d'essieu lourd si l'on anticipe que de tels essieux seront peu nombreux dans la vie de la chaussée. Or, il est connu que sur plusieurs routes locales, le pourcentage d'essieux ayant des poids voisins ou égaux à la charge maximale permise est faible.

2.3.3 A mesure que l'épaisseur du gravier diminue, le danger de déformation permanente à la partie supérieure du sable s'accroît (fig. 1). Il est donc normal d'assumer que si le sable est placé au-dessus d'un certain niveau critique, il va subir une déformation permanente. Cette déformation va cependant être moins préjudiciable à l'ensemble de la chaussée - du moins dans le cas d'une route pavée - qu'elle ne le serait si elle survenait immédiatement sous le revêtement. Pour cette raison, il paraît préférable, surtout si l'on veut mettre l'accent sur l'économie et si le gravier est beaucoup plus cher que le sable, de réduire la couche de gravier au point de courir le risque d'une certaine instabilité au niveau du sable mais de se montrer toujours très exigeant sur la qualité du gravier.

2.4 Structure de chaussée retenue

2.4.1 Routes non revêtues - Les considérations précitées nous amènent à conclure qu'il peut être très acceptable de n'avoir recours en général, sur les routes locales, qu'à environ 150 mm de gravier au-dessus du sable (tableau I). D'ailleurs, en jetant un coup d'oeil sur les pratiques suivies dans diverses provinces canadiennes (réf. 6, 8 et 11), on constate que plusieurs d'entre elles font preuve de beaucoup d'austérité dans la construction

TABEAU I - Epaisseurs (mm) de fondation (F) en granulat 19-0A et de sous-fondation (SF) en sable de classe A en regard du trafic et de la nature de l'infrastructure.

Camions /jour /voie	Couche	Nature de l'infrastructure						
		Remblai ou Déblai	Roc	Granul. Cl. A	GW-GM SW-SM	GM, GC	SM, SC	ML, CL, OL ² MH, OH ² , CH
0 à 5	F	Remblai	300	-----150-180 ⁽³⁾ -----				
	SF		—	(1)	150	300	350	400
	F	Déblai	400	-----150-180 ⁽³⁾ -----				
	SF		—	(1)	250	400	450	500
5 à 15	F	Remblai	325	-----150-200 ⁽³⁾ -----				
	SF		—	(1)	200	350	400	450
	F	Déblai	425	-----150-200 ⁽³⁾ -----				
	SF		—	(1)	300	450	500	550
15 à 40	F	Remblai	350	-----160-220 ⁽³⁾ -----				
	SF		—	(1)	250	350	400	450
	F	Déblai	450	-----160-220 ⁽³⁾ -----				
	SF		—	(1)	350	450	500	550

- (1) : La partie supérieure de l'infrastructure doit être scarifiée sur une épaisseur de 250 mm puis, homogénéisée et densifiée à 95% du "Proctor modifié".
 (2) : Les sols organiques OL et OH requièrent souvent des études spéciales.
 (3) : Voir article 2.4.1.

des routes à faible trafic. En général, les épaisseurs qu'elles proposent pour un type de sol, un trafic et une classe de route donnés sont cependant révisées à chaque projet pour tenir compte des particularités environnementales possibles ou des caractéristiques structurales mesurées sur les matériaux vraiment utilisés sur le chantier.

A ce sujet, on retiendra que si le sable est uniforme, fin, difficile à densifier et donc de faible résistance, la couche de gravier devra être augmentée de 20 ou 30 mm. Si au contraire il affiche une granularité étalée et donne lieu à une densité élevée, la couche pourra être réduite de la même façon. Pour les fins du présent document, il a cependant été jugé que l'épaisseur minimale admissible pour la fondation supérieure était de 150 mm.

Si en outre, les camions qui circulent sur un chemin donné affichent des charges axiales moyennes particulièrement élevées (camions de gravier affectés à la construction d'une route, camions de bois, etc.) ou ont plus d'essieux que ne le veut la coutume sur le réseau tertiaire, il faut accroître légèrement (< 50 mm) les épaisseurs de fondation prévues au tableau I.

Pour ce qui est de la sous-fondation, son épaisseur dépend essentiellement de la portance de l'infrastructure, laquelle peut être évaluée au moyen de différents essais tels que: l'essai CBR, l'essai de plaque, la détermination de la valeur R, la détermination du module de résilience, etc..

Dans les régions de gel, les résultats ainsi obtenus doivent en outre être pondérés pour représenter les conditions qui prévalent en période de

dégel. Cette pondération est cependant susceptible d'imprécision puisqu'elle fait intervenir des facteurs variables dans le temps ou dans l'espace. Ce sont notamment: la nature du sol, plus particulièrement son degré de gélivité, la profondeur de la nappe phréatique, la qualité du drainage, etc..

Au Ministère, cette portance est évaluée au moyen des données géotechniques recueillies au cours d'une étude de reconnaissance de tracé. Les épaisseurs de sous-fondation énumérées au tableau I ont donc été déterminées par une méthode analogue à celle qui est mentionnée à la norme 3.3.1.2 du Ministère. Quant à celles du gravier, elles découlent des considérations mentionnées plus haut au présent article (2.4.1) de même qu'au paragraphe 2.3.

Remarquons enfin qu'un léger sous-dimensionnement au niveau des couches granulaires peut n'avoir que très peu de conséquences si la route demeure non revêtue puisqu'il existe alors aucun danger de fissuration et qu'un renforcement éventuel peut toujours être appliqué à volonté par la simple pose d'une couche de gravier supplémentaire.

Le seul inconvénient d'un tel sous-dimensionnement initial - à part, bien sûr, d'avoir à intervenir deux fois dans la vie de la chaussée - réside dans le fait qu'on obtient, après renforcement, une structure dont la proportion de gravier par rapport à celle du sable est exagérée, ce qui risque d'occasionner certains frais.

2.4.2 Routes revêtues - Les conséquences d'un sous-dimensionnement sont plus importantes dans le cas des routes qu'on entend revêtir puisqu'elles se traduisent alors par une fissuration prématurée, laquelle constitue par la suite un obstacle à la bonne performance des recouvrements ultérieurs. Pour cette raison et aussi parce que les structures proposées au présent document sont déjà largement réduites par rapport à celles qui ont été utilisées jusqu'à maintenant, il paraît préférable de ne pas invoquer la présence d'un revêtement pour justifier des épaisseurs réduites de fondation et de sous-fondation.

2.4.3 Cas des réhabilitations - Les pages qui précèdent concernent les chaussées neuves. Lorsqu'il s'agit de chaussées à rénover, les problèmes se présentent sous un angle un peu différent étant donné qu'on ne dispose pas alors d'une étude pédologique qui décrirait la nature de l'infrastructure et la composition de la chaussée existante. On pourrait donc être porté alors à vouloir obtenir par sondage les données manquantes et déterminer ensuite ce qui devrait être ajouté à la chaussée pour la rendre conforme au tableau I. Une telle façon de procéder est cependant longue, coûteuse et jonchée de difficultés en raison surtout des variations de toutes sortes qui existent fréquemment le long d'un tronçon. Il est donc préférable de suivre la méthode décrite ci-après, laquelle ne constitue toutefois qu'un minimum lorsque les travaux envisagés incluent la pose d'un revêtement. Elle comprend les étapes suivantes:

a) Exécution d'un relevé visuel de la chaussée sur la fin de l'hiver qui précède la pose du pavage afin de localiser les sites de soulèvements différentiels qui requièrent des interventions,

b) Correction de ces sites, s'il y a lieu, selon les recommandations de l'annexe A,

c) Exécution d'un relevé de portance (Benkelman ou Dynaflect) au cours de l'été afin de déterminer si la route requiert un renforcement avant pavage,

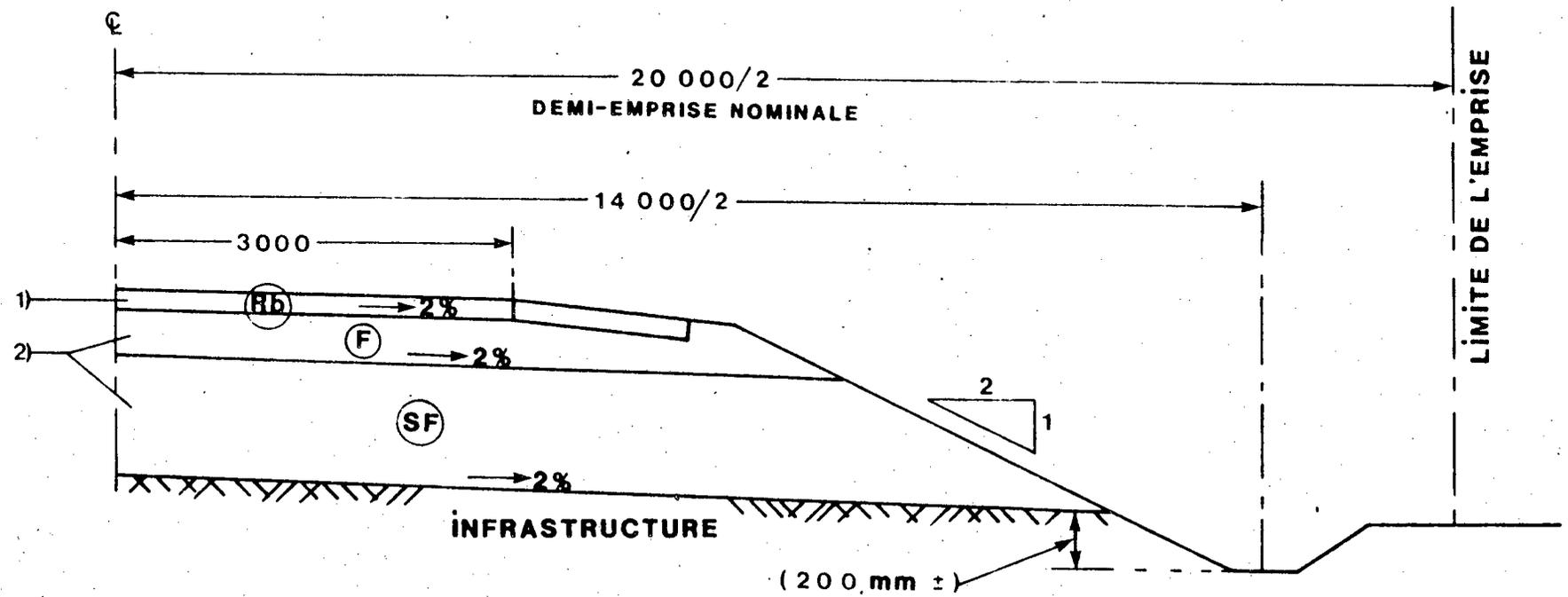
d) Echantillonnage de la couche de roulement en gravier afin d'en connaître la granularité. Si, malgré une portance satisfaisante (Benkelman ou Dynaflect), la couche s'avère non conforme au calibre 19-0A, il faut scarifier sur une épaisseur minimum de 100 mm, reprofiler, redensifier conformément aux exigences du cahier des charges et ajouter une couche de 19-0A d'au moins 50 à 125 mm d'épaisseur, selon la qualité du gravier sous-jacent,

e) Si la chaussée requiert un renforcement supérieur aux épaisseurs de 19-0A indiquées au tableau I, il est permis de substituer l'excédent d'épaisseur par du sable placé à la base du renforcement ou encore - si la route doit être pavée - par une partie ou par la totalité du revêtement bitumineux. Dans l'un et l'autre cas, cette substitution doit cependant tenir compte des critères suivants:

10 mm de 19-0A = 15 mm de sable,
= 6 mm de revêtement à froid,
= 5 mm de revêtement à chaud.

La construction du renforcement doit cependant toujours être précédée d'une scarification et d'un profilage de l'ancienne chaussée de la façon indiquée plus haut en "d".

f) Les fossés doivent, dans la mesure du possible, se rapprocher des exigences de la figure 2. Si, par suite d'une emprise limitée, il paraît impossible d'obtenir un drainage satisfaisant à ciel ouvert, il faut considérer la possibilité d'avoir recours, sur au moins un côté de la route, à un fossé juste assez profond pour capter les eaux de ruissellement et seconder ce fossé par un drain perforé souterrain placé à la partie supérieure de l'infrastructure, sous la bordure extérieure de l'accotement.



1: Revêtement si exigé au devis spécial.

2: Les épaisseurs de ces couches sont celles indiquées au tableau I.

FIGURE 2 - Structure de chaussée souple pour routes locales en milieu rural.

3 LES REVETEMENTS

3.1 Doit-on paver?

Il faut bien se remémorer au départ que le présent document concerne avant tout les routes ou chemins du réseau tertiaire. Il n'est donc pas exclus que certaines d'entre elles, et même celles nouvellement construites, demeurent au gravier. Il a déjà été démontré en effet (réf. 9) que la pose d'un revêtement à chaud ne peut se justifier au plan économique, que si le trafic est supérieur à 300 véhicules par jour environ. Dans le cas d'un traitement de surface ou de tout autre revêtement à froid dont le coût et la durée sont comparables au traitement, il semblerait que ce seuil puisse être abaissé à environ 150.

Les facteurs strictement économiques ne sont toutefois pas les seuls à devoir être considérés; il faut aussi tenir compte des aspects suivants:

- La présence ou non d'habitations au voisinage immédiat de la route,
- La nature du trafic, notamment en ce qui concerne sa vitesse et le fait qu'il soit de transit ou de type purement local,
- L'urgence de protéger certaines cultures contre la poussière,
- La sécurité du public voyageur,
- L'efficacité et le coût des alternatives disponibles pour faire face au problème de la poussière (CaCl_2 et huile) ou pour stabiliser une couche de roulement (CaCl_2 dans le cas de gravier argileux).

Il est probable que tous ces facteurs puissent être mieux pris en compte au niveau de la Région et que ce soit donc de cet endroit que doive venir la décision de paver ou non un chemin donné. Cette décision doit cependant avoir été prise à la lumière des critères mentionnés plus haut et ne doit pas faire oublier que, faute de ressources, beaucoup de routes à faible trafic devront demeurer au gravier, qu'un certain nombre d'entre elles pourront bénéficier d'un revêtement à froid mais que très peu se verront octroyer un revêtement à chaud.

3.2 Revêtements à froid

Pour bien comprendre ce que signifie le terme "revêtement à froid", il importe de saisir au départ qu'il s'oppose à celui de "revêtement à chaud". Il peut donc s'appliquer à plusieurs types de revêtements qui sont eux aussi flexibles et à base de bitume mais qui ne nécessitent pas de chauffage du granulat au moment de leur fabrication. Alors que les revêtements à chaud sont toujours des enrobés, c'est-à-dire qu'ils sont obtenus par malaxage du granulat avec un bitume pur, i.e. solide à la température de la pièce, les revêtements à froid peuvent être aussi bien des "imprégnés" (traitement de surface et bitumacadams) que des enrobés.

Dans les pages qui suivent, il sera question des revêtements à froid qui furent le plus couramment utilisés au Québec dans le passé, à savoir: les traitements de surface (par. 4), les enrobés denses à l'émulsion (par. 5) et les enrobés au bitume moussé (par. 6).

4 LE TRAITEMENT DE SURFACE

4.1 Définition

Le traitement de surface, aussi appelé enduit superficiel ou enduit d'usure, est obtenu par la pose d'une couche d'émulsion qu'on recouvre immédiatement de pierre concassée de grosseur uniforme. Celle-ci est ensuite cylindrée et imprégnée dans l'émulsion sous-jacente (fig. 3). Le procédé peut être répété en utilisant des granulats qui sont progressivement plus petits vers le haut. On obtient ainsi, selon le cas, des traitements simples (enduits monocouches), des traitements doubles (enduits bicouches) ou des traitements triples (enduits tricouches).

Le Ministère s'est presque toujours contenté des traitements simples et des traitements doubles jusqu'à maintenant. Dans quelques cas cependant, il a eu recours à des traitements triples et le résultat a été très bon. Il posait alors un traitement double qui servait de couche de roulement pendant une couple d'années. Au cours de cette période, il se produisait un certain rejet ou arrachement de quelques particules, principalement de celles qui n'avaient été que faiblement enchâssées dans la couche bitumineuse sous-jacente. Cet arrachement se traduisait par une augmentation de la rugosité et donc par l'émergence en surface de pierres plus ou moins grosses, sans doute assez bien ancrées à leur base mais en saillie et donc en danger d'être éjectées à leur tour par le trafic.

La troisième couche posée tôt en saison une couple d'années plus tard, en utilisant une pierre de faibles dimensions, venait renchausser

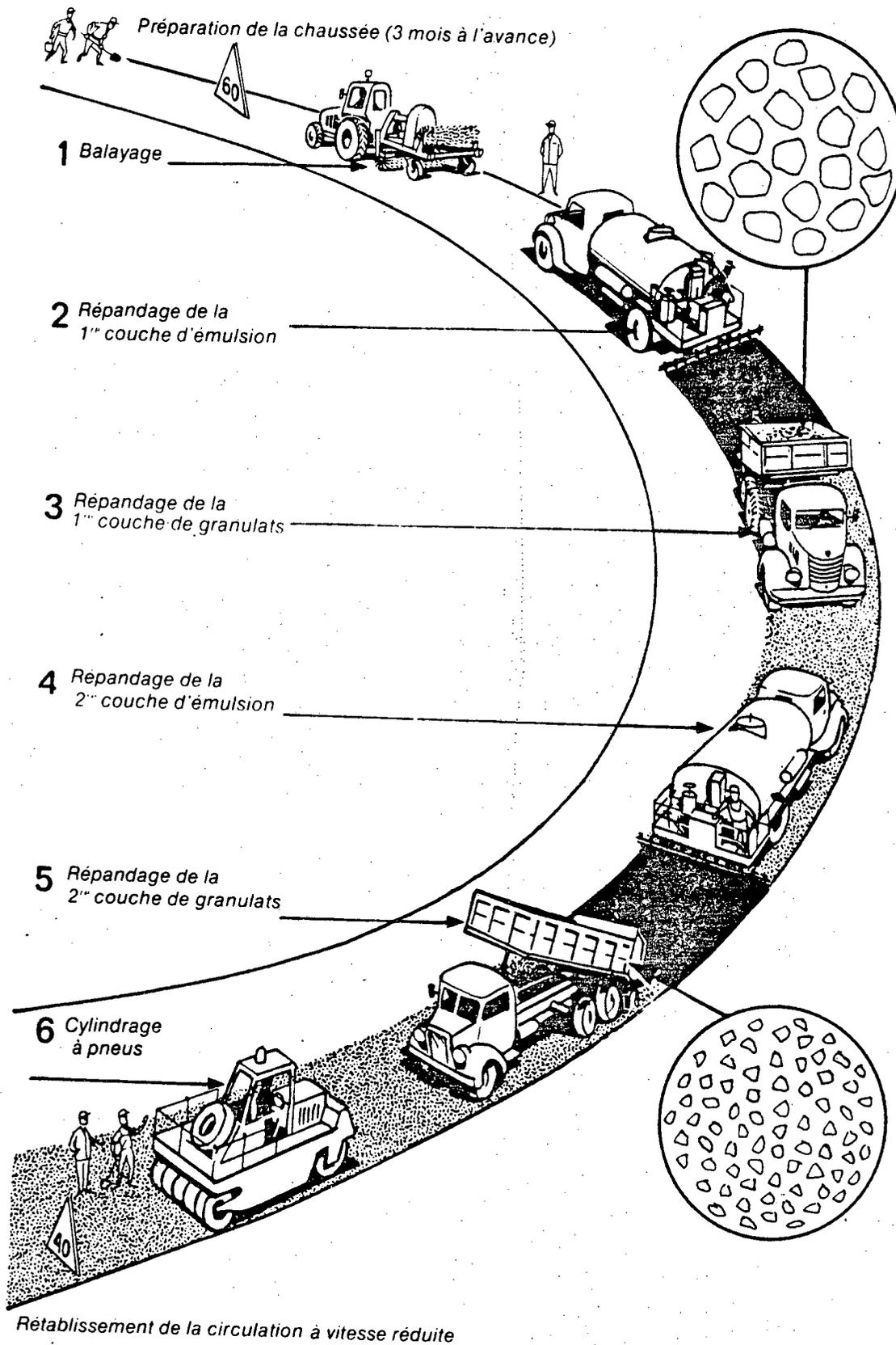


FIGURE 3 - Etapes de fabrication d'un traitement de surface double (Extrait de "Les Emulsions de bitume et leurs applications routières", 1976).

les particules en danger d'être éjectées et conférer à la surface un aspect plus attrayant et plus durable.

4.2 Modes d'emploi

4.2.1 Traitement simple - Le traitement de surface simple convient bien aux routes à faible trafic pour les fins suivantes:

- Assurer une couche de protection imperméable à un vieux revêtement qui commence à se désagréger et se fendiller. Si les fissures sont larges ou que le trafic est assez important, c'est cependant un traitement double qui devrait être utilisé;
- Obvier aux faiblesses ou dégradations causées par l'oxydation, l'arrachement ou l'usure superficielle d'une vieille couche de roulement;
- Protéger et renforcer la surface d'un enrobé dense à froid qui a été fabriqué à partir d'agrégats marginaux ou encore, qui a été endommagé prématurément ou qui risque de l'être, soit par un trafic intense, soit par un trafic qui génère beaucoup de contraintes tangentielles (courbes, zones d'accélération et de décélération, etc.).

4.2.2 Traitement double - A l'exception des cas précités, le traitement double est généralement plus avantageux que le traitement simple puisque, bien effectué, il dure environ trois fois plus longtemps alors que son prix n'est qu'environ 50% plus élevé (réf. 1, p. 48).

Même si les prescriptions précitées s'appliquent aussi bien aux revêtements qui sont posés sur une couche bitumineuse qu'à ceux qui reposent sur une base granulaire, il n'en demeure pas moins que c'est sur une base granulaire que le traitement double a été le plus apprécié dans le passé. Il constitue alors sans aucun doute le revêtement à froid le plus utilisé sur les routes à faible trafic. Il est peu enclin à la fissuration et dans bien des cas, il s'est avéré le moins cher. Il requiert cependant un granulat qui, en plus d'être dur et résistant, doit contenir au moins 50% de concassé. De plus, en raison de sa faible épaisseur (à peine 20 mm) il n'a pas la résistance que l'enrobé dense possède après cure et ne contribue pas non plus autant que ce dernier à la portance de la chaussée. Il doit donc de toute nécessité reposer sur une fondation forte, bien densifiée, bien drainée et de granularité conforme aux exigences du calibre 19-0A.

Retenons enfin qu'avant de procéder à la pose d'un traitement de surface, il est important de s'assurer que:

- a) L'émulsion et le granulat sont compatibles;
- b) Le granulat est exempt de poussières ou autres impuretés qui risqueraient d'entraver l'adhésion du bitume avec la pierre;
- c) Les travaux vont se dérouler dans des conditions climatiques favorables i.e. sèches et chaudes. En effet, les émulsions tolèrent moins bien les mises en oeuvres par température fraîche que les cutbacks utilisés il y a quelques années (réf. 1, p. 42);
- d) La pose sur la route va s'effectuer suffisamment tôt en saison pour que le revêtement bénéficie d'une cure d'au moins un mois de temps chaud.

5 L'ENROBÉ À L'ÉMULSION

5.1 Analogies avec l'enrobé à chaud

Quelques notions considérées comme très fondamentales chez les enrobés à chaud s'appliquent également aux enrobés à froid mais selon des modalités un peu différentes. Il importe de bien comprendre ces analogies entre les deux types de revêtements étant donné que les premiers sont beaucoup mieux connus que les seconds tant au point de vue de leur mode de fabrication que de leurs propriétés ou de leur comportement dans le temps. Elles peuvent s'énoncer comme suit:

5.1.1 Les mélanges à chaud sont fabriqués à la température pour laquelle la viscosité du liant facilite au maximum l'enrobage du granulat; ils sont en outre densifiés à la température pour laquelle la viscosité paraît la plus propice à l'obtention d'une densité maximale.

Dans le cas des revêtements à froid, on fait varier de façon analogue la viscosité du liant, d'abord en contrôlant l'humidité du granulat de façon à ce que l'enrobage s'effectue le plus facilement possible, ensuite en laissant évaporer une partie de cette eau afin qu'une fois compacté, le mélange affiche une stabilité et une densité optimales. Pour éviter tout délai inutile, il est cependant préférable de ne pas avoir recours à plus d'eau qu'il ne faut au moment de l'enrobage.

5.1.2 A la suite d'un compactage approprié, le revêtement à chaud acquiert toute sa résistance par simple refroidissement tandis que le revêtement à froid ne l'acquiert que de façon très lente, c'est-à-dire au fur et à

mesure que l'émulsion se rompt et que l'évaporation de sa phase volatile se poursuit. Cette période de cure continue d'ailleurs bien longtemps après que le mélange a été compacté. Il s'ensuit qu'afin de pouvoir résister aux contraintes générées par le trafic pendant les premiers jours qui suivent la pose sur la route, un certain nombre de précautions doivent être observées:

- Le trafic doit être léger, à vitesse ralentie et même restreint aux véhicules de promenade s'il y a pluie;
- Le mélange doit avoir été fabriqué à partir d'un granulats qui, même sans son liant, a déjà une bonne résistance mécanique, c'est-à-dire qu'il doit avoir une granularité bien étalée, une teneur en pierre et un pourcentage de concassé tous deux suffisamment élevés et enfin une teneur en fines ne dépassant pas 8 ou 10% (voir art. 9.2),
- Avoir au moment du compactage une phase fluide suffisamment visqueuse pour procurer une certaine cohésion au mélange sans toutefois faire obstacle à l'obtention de la densité spécifiée.

5.1.3 Pour obtenir un revêtement durable, il faut viser la plus faible teneur possible en vides, d'où l'importance d'un bon compactage et d'un dosage maximal en bitume résiduel. Toutefois, afin d'éviter à tout danger de ressuage, le volume global des diverses phases liquides contenues dans le mélange ne doit guère excéder celui qui serait occupé par le seul bitume dans un mélange à chaud de même granularité. Ces diverses phases liquides sont:

- l'eau contenue dans le granulats avant malaxage,
- la phase volatile du liant,
- le bitume résiduel du liant.

De là, il est permis de tirer les conclusions suivantes:

a) Il est quasi impossible qu'un enrobé à froid contienne autant de bitume qu'un enrobé à chaud bien proportionné et de même granularité;

b) Le compactage ne doit pas débuter avant que l'évaporation n'ait réduit les diverses phases liquides au volume global maximum mentionné plus haut au présent article, sans quoi, on s'expose à un certain ressuage;

c) L'évaporation qui se poursuit après la pose sur la route traduit l'existence de pores, lesquelles, au départ, sont plus ou moins remplies d'eau. Plus cette eau est abondante au moment du compactage, plus grandes sont les chances d'avoir un revêtement poreux. L'équilibre visé entre le resuage d'une part et la trop forte porosité ou la trop faible teneur en bitume résiduel d'autre part peut donc à l'occasion s'avérer délicat. On y parvient plus facilement lorsque le granulat est constant aux points de vue granularité et teneur en eau et lorsque le matériel utilisé est de bonne qualité, permettant un dosage précis du liant et l'obtention d'un mélange constant et homogène.

5.2 Fabrication de l'enrobé à l'émulsion

5.2.1 Formule de mélange - Il semble superflu de mentionner que l'obtention d'un enrobé de bonne qualité suppose au départ une bonne formule de mélange. Outre les exigences mentionnées plus bas au paragraphe 9, lesquelles concernent l'entrepreneur, l'Asphalt Institute (réf. 1, p. 76) énumère un certain nombre de facteurs qu'il importe de prendre en compte au moment de l'élaboration de la formule de mélange:

a) La compatibilité du granulat avec le liant est plus critique dans le cas d'un enrobé à froid que dans celui d'un enrobé à chaud. La composition minérale du granulat peut donc avoir une influence notable sur la performance du revêtement, et ce, indépendamment des résultats obtenus aux autres essais (Mg SO₄, abrasion Los Angeles, nombre pétrographique, etc.).

b) Il découle de ce qui précède que chaque projet doit toujours être précédé de mélanges d'essais en laboratoire. Ces mélanges doivent en outre être effectués à partir des granulats que l'on se propose d'utiliser sur le chantier.

c) Les essais en laboratoire servent à déterminer:

- Le type et le grade d'émulsion qui conviennent le mieux,
- Le dosage optimal en émulsion, tenant compte de l'eau contenue dans le granulat et de celle qui s'évapore pendant le processus d'aération sur la route,
- La teneur maximale du granulat en eau qui puisse être acceptée sans faire obstacle à l'enrobage ou à la pose du revêtement sur la route.

5.2.2 Malaxage des enrobés - Le matériel utilisé pour effectuer le malaxage peut avoir une grande influence sur la qualité de l'enrobé. Dans le passé, la niveleuse et le pulvi-malaxeur (fig. 5 et 6) ont souvent été utilisés mais pas toujours avec les succès escomptés. Ces engins en effet ne peuvent que difficilement assurer l'homogénéité requise pour la confection des couches de surface tant au point de vue de leur dosage en émulsion qu'à celui de la granularité de leur granulat. Ils ne peuvent pas non plus assurer le respect des exigences de la formule de mélange touchant l'humidité du granulat. On leur préfère donc l'usine automotrice (fig. 7) de type "moto-paver" et surtout la centrale d'enrobage à froid (fig. 8). La première peut convenir aux projets de faibles dimensions surtout si elle est munie des dispositifs requis pour contrôler les proportions des divers constituants. La seconde est cependant préférée sur les projets de grande envergure. On requiert alors qu'elle

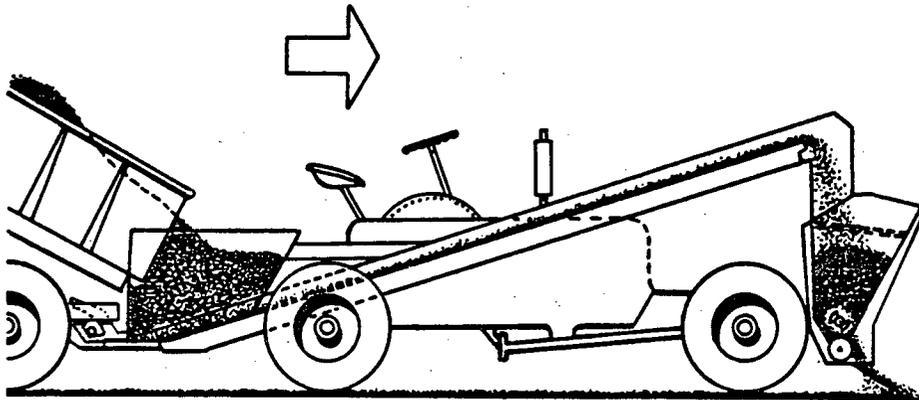


FIGURE 4 - Cheminement du granulat dans une gravillonneuse automotrice servant à la fabrication d'un traitement de surface.

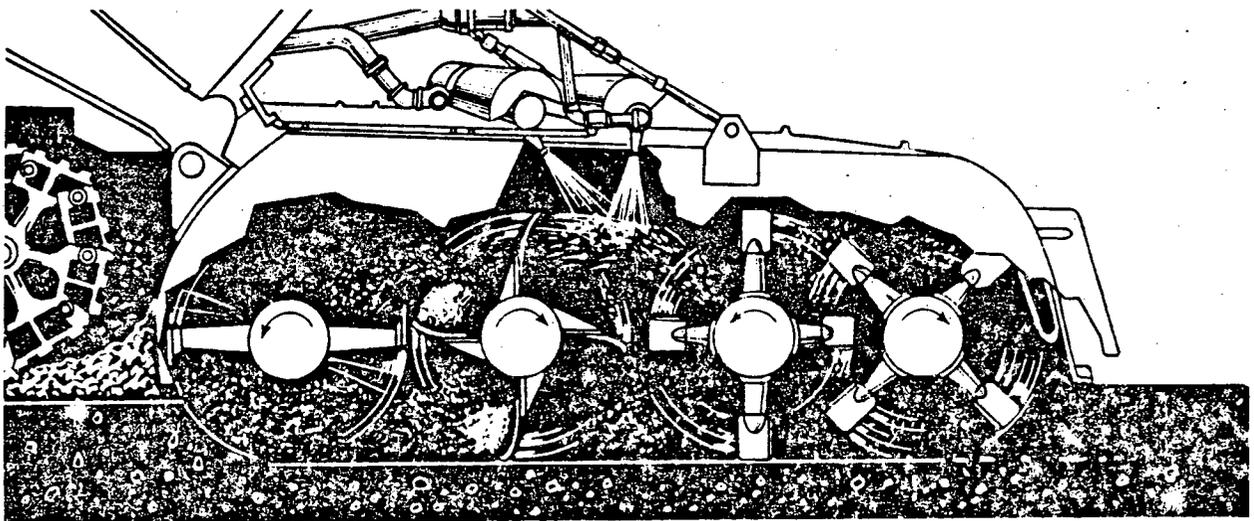


FIGURE 5 - Enrobage des granulats sur la route avec un bitume liquide en utilisant un pulvi-mélangeur multiple.

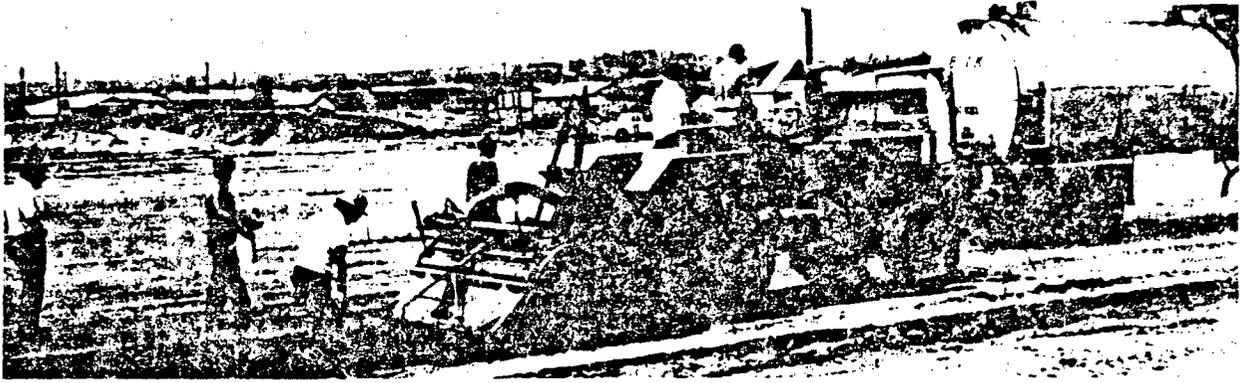


FIGURE 6 - Enrobage des granulats sur la route avec un bitume liquide en utilisant un pulvi-mélangeur simple.

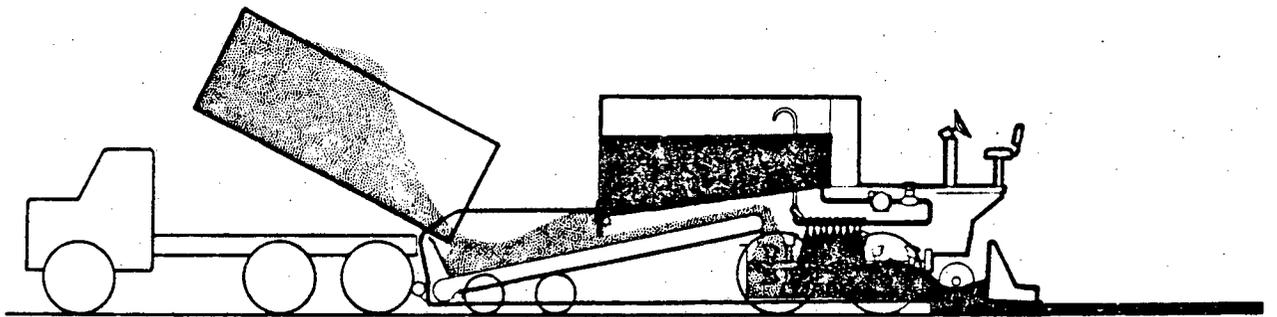


FIGURE 7 - Usine automotrice servant au malaxage à froid du granulat avec un bitume liquide dans un récipient fermé et à sa pose sur la route en une couche uniforme.

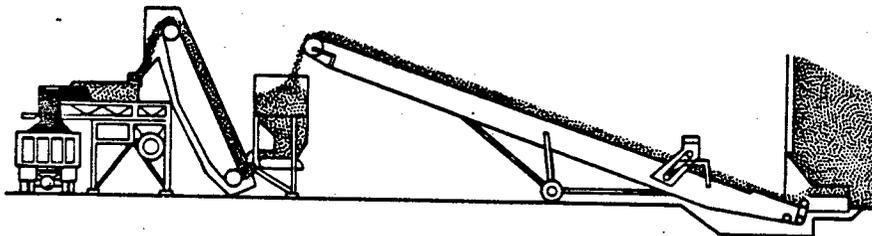


FIGURE 8 - Cheminement du granulat et malaxage de ce dernier avec le bitume liquide dans une centrale d'enrobage à froid.

possède comme accessoires minimum: un réservoir à émulsion, des bennes d'entreposage pour les granulats, des dispositifs de contrôle et d'enregistrement des divers ingrédients, un débit-mètre, une rampe d'aspersion pour humidifier les granulats lorsque requis et un malaxeur muni de contrôles qui permettent de faire varier le temps de malaxage de 5 à 30 secondes (réf. 1, p. 86).

Lorsque l'usine n'est pas munie de telles facilités, il faut au moins s'assurer que le granulat demeure toujours conforme aux exigences du paragraphe 9 et suffisamment constant en cours de production pour ne pas obliger à de fréquentes modifications de la teneur en émulsion.

De plus, si un entrepreneur désire avoir recours au procédé à chaud là où le procédé à froid était prévu, il devrait pouvoir le faire du moment que les conditions suivantes soient respectées:

- a) Que le granulat soit conforme aux prescriptions de l'article 9.2 touchant l'enrobé à l'émulsion ou encore à celles du cahier des charges touchant la fabrication des enrobés à chaud;
- b) Que le dosage en bitume ait été approuvé par le Ministère et qu'il ait été fixé auparavant selon la méthode habituelle pertinente aux enrobés à chaud;
- c) Que l'entrepreneur se conforme aux exigences de son contrat touchant le coût des travaux, le contrôle qu'il doit exercer sur la granularité, la teneur en liant et l'emploi éventuel des dispositifs requis à ces fins.

6 L'ENROBÉ AU BITUME MOUSSÉ

6.1 Historique

De très nombreux tronçons routiers situés dans plusieurs régions du Québec ont été revêtus d'enrobés au bitume moussé (foam asphalt) au cours de la période s'échelonnant de 1962 à 1973 environ. Le procédé consistait à introduire de la vapeur d'eau sous une pression d'environ 275 kPa (40 psi) dans un bitume chaud, lui-même comprimé à 140-200 kPa dans un jet spécial. Le bitume était ainsi écumé (ou "moussé"), ce qui permettait l'enrobage du granulat à froid.

Vers 1970, le procédé a été légèrement modifié en remplaçant la vapeur par 1 à 2% d'eau froide (procédé Mobil) et ce, sans modification apparente de la qualité de l'enrobé.

6.2 Fabrication

Le fait que l'enrobé au bitume moussé soit fabriqué à partir d'un bitume pur (ciment asphaltique) au lieu d'une émulsion constitue un avantage économique notable non seulement à l'achat du liant mais également lors du transport de ce dernier de la raffinerie à l'usine d'enrobage.

Hors cette particularité du liant, il est permis d'affirmer que la fabrication de l'enrobé au bitume moussé comporte plusieurs similitudes avec celle de l'enrobé à l'émulsion:

- 6.2.1 Elle est réalisée avec le même matériel, soit une usine automotrice ou une centrale d'enrobage à froid, moyennant l'ajout à l'une ou à l'autre de jets qui servent à mousser le bitume.
- 6.2.2 Les agrégats doivent se conformer aux mêmes exigences soit celles du paragraphe 9 sauf qu'en ce qui concerne leur granularité, seules les catégories C ou D du tableau II sont acceptables.
- 6.2.3 Les précautions décrites au paragraphe 5.2.2 au sujet des dispositifs requis pour assurer que la granularité, la teneur en liant et la teneur en eau demeurent toutes trois constantes en cours de production s'appliquent également. La teneur en eau avant enrobage est particulièrement importante et mérite une attention continuelle. Lorsque maintenue à son niveau optimum, elle assure en effet un enrobage plus intime, une meilleure répartition du bitume (moussé) dans la masse de même qu'une densité et une stabilité plus élevées sur la route (réf. 4).

6.3 Pose du revêtement

La pose d'un revêtement au bitume moussé ne requiert sans doute pas autant de soin et d'attention que celle d'un revêtement à l'émulsion puisqu'il n'y a pas lieu alors de se préoccuper d'aération du mélange ni de viscosité optimale du liant au moment du compactage. Ce dernier peut donc être effectué dès que le mélange est déposé sur la route.

Comme avec tous les enrobés, il faut cependant veiller à ce que la teneur en vides soit minimale grâce à un compactage énergique et à une

teneur maximale en bitume (art. 5.1.3). Cependant, comme dans le cas du mélange à l'émulsion, on ne peut éviter qu'une quantité appréciable d'humidité soit présente dans le mélange au moment du compactage de sorte que le revêtement ainsi produit est forcément un peu poreux. Sa résistance mécanique est également plus faible que celle d'un enrobé à chaud et requiert en contrepartie une bonne granularité, un pourcentage de concassé élevé et une maturation suffisamment prolongée avant d'être exposé aux rigueurs de l'hiver ou à un trafic intense, ne fut-ce que pendant une brève période.

7 AUTRES REVÊTEMENTS À FROID

Il existe d'autres revêtements à froid qui peuvent eux aussi s'avérer utiles à l'occasion. Etant donné cependant qu'ils ont été peu utilisés jusqu'à maintenant au Québec ou qu'ils ont été plus ou moins mis au rancart pour différentes raisons, nous ne ferons à leur sujet que de brefs commentaires.

- 7.1 Les enrobés ouverts à l'émulsion suscitent beaucoup d'intérêt un peu partout en Amérique du nord depuis quelques années. Ils ont d'abord été utilisés avec beaucoup de succès aux Etats-Unis par le Service des forêts (U.S. Forest Service) sur des chemins de halage supportant un trafic sans doute lent et peu dense mais très lourd. Quelques tentatives plutôt sporadiques faites au Québec au cours des dernières années ont de plus été couronnées de succès. L'expérience est cependant encore trop restreinte et trop peu connue pour faire l'objet de recommandations à l'échelle de la province. Ce qui manque actuellement, c'est une étude de mise au point du procédé qui

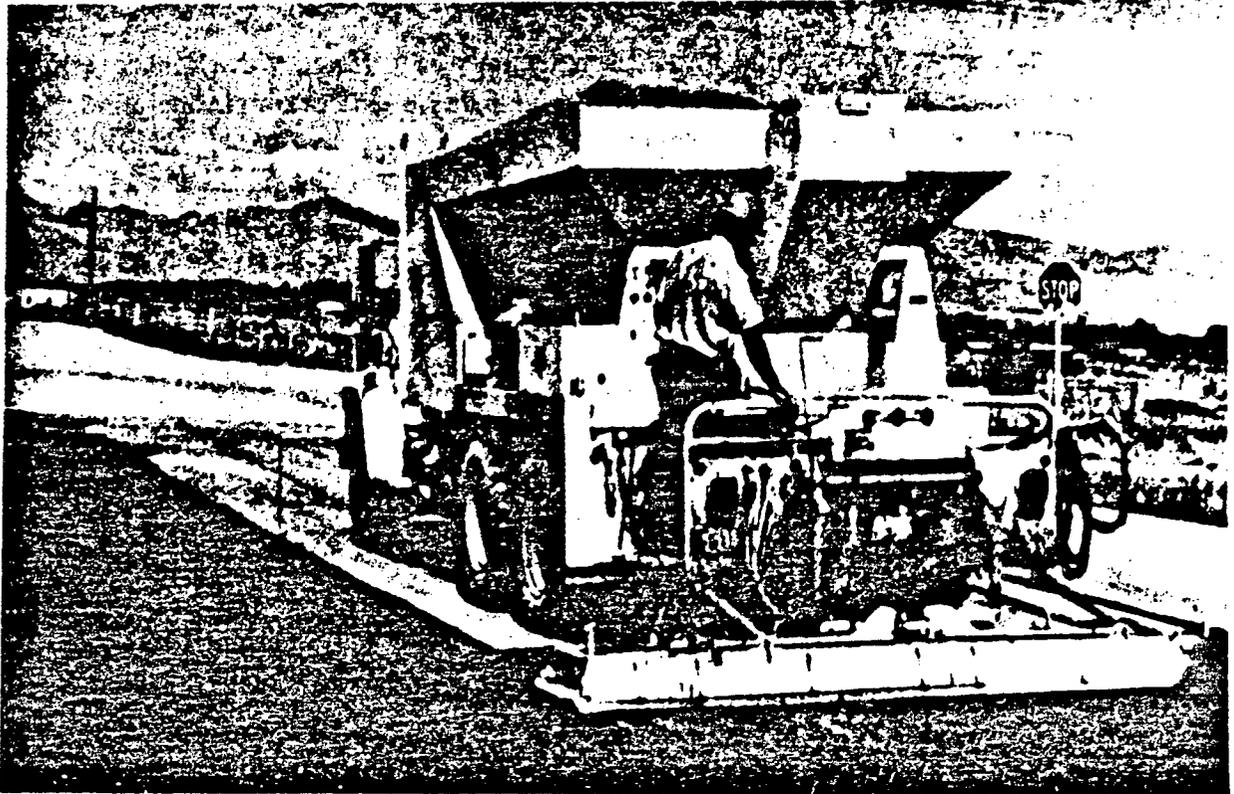


FIGURE 9 - Machine servant à fabriquer le coulis de scellement et à le poser sur la route.

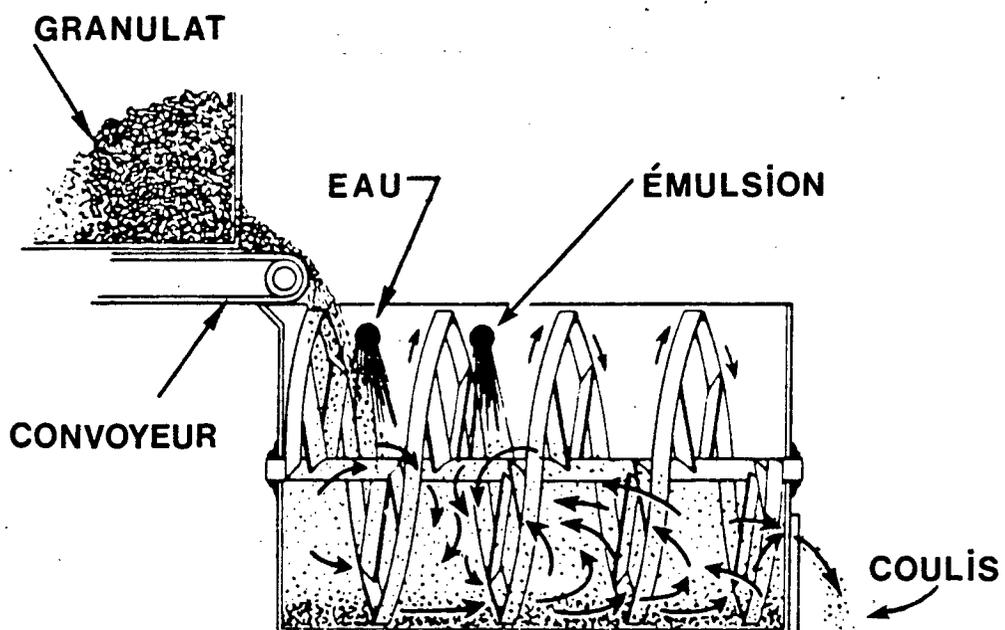


FIGURE 10 - Préparation du coulis de scellement dans la machine illustrée à la figure 6.

viserait à préciser à la fois le mode d'exécution de ce type de revêtement et les situations auxquelles il conviendrait.

- 7.2 Les traitements de surface au gravier ont peu retenu l'attention du Ministère jusqu'à maintenant. Ils sont pourtant fort populaires auprès de certaines administrations hors du Québec, qui s'en sont servi dans des régions où la pierre concassée faisait défaut. La technique utilisée est la même que celle du traitement de surface simple sauf que la pierre concassée est remplacée par un gravier contenant au moins 50% de gros éléments et que l'émulsion est du type HF, c'est-à-dire, à haute flottabilité.
- 7.3 Les bitumacadams (pénétrations) n'ont jamais occupé au Québec la place qui pourrait peut-être leur revenir. Etant donné en effet qu'il est possible de les fabriquer avec un bitume solide (ciment asphaltique), le problème de mûrissement que posent les revêtements à froid, par suite de notre saison estivale courte, pourrait dans bien des cas trouver une solution acceptable. De plus, la grosse pierre qu'ils contiennent pourrait constituer une garantie contre l'arrachement et donc contre la ruine parfois rapide de certaines couches de roulement mises en place dans des conditions défavorables.
- 7.4 Le coulis de scellement (Slurry seal) est constitué d'environ 82% de criblure (ou de sable et criblure) et 18% d'émulsion auquel on ajoute une quantité d'eau pour en faire un mélange très fluide au moment de la pose (fig. 9 et 10). En raison de sa faible épaisseur, qui est généralement de 3 à 6 mm, il n'est pas employé directement au-dessus d'une couche granulaire,

mais bien plutôt au-dessus d'une base bitumineuse plus épaisse et plus forte, à laquelle il se trouve pour ainsi dire attaché. Cette base peut être un accotement revêtu qui commence à se dégrader et auquel on veut redonner un aspect de neuf plus lisse, plus imperméable et plus résistant aux sels et aux agents atmosphériques. Ce peut être également un enrobé à froid posé quelques semaines auparavant que l'on veut protéger avant la venue de l'hiver.

- 7.5 Le scellement à l'émulsion utilisé par le Service américain des forêts (U.S. Forest Service) pour imperméabiliser et renforcer la partie supérieure de certains revêtements denses fabriqués à froid constitue une autre technique intéressante. Elle consiste à épandre une émulsion diluée avec 80 à 90% d'eau sur un revêtement qui a été mis en place quelques semaines auparavant et qui a ainsi subi, au moins en surface, une cure et un séchage au cours desquels une bonne partie de l'humidité qu'il contenait initialement a pu s'échapper. Le procédé peut être répété dès que la couche préalablement posée a séché.

La grande fluidité du mélange d'eau et d'émulsion ainsi appliqué permet au bitume de pénétrer dans les pores du revêtement pour sceller la surface et la rendre plus résistante aux contraintes tangentielles exercées par le trafic.

8 ÉVALUATION DES REVÊTEMENTS À FROID

8.1 Les avantages

Le seul fait que les revêtements à froid soient fabriqués sans chauffage ni séchage des granulats comporte plusieurs avantages:

- a) Ils permettent des économies substantielles aux chapitres de la fabrication et du transport, principalement lorsque les travaux de pavage se déroulent loin d'une usine à chaud;
- b) Ils peuvent être fabriqués avec un matériel minimum, relativement peu coûteux et facilement transportable;
- c) Leur fabrication consomme moins d'énergie que celle des revêtements conventionnels;
- d) Ils contribuent beaucoup moins que ces derniers à la pollution de l'environnement.

8.2 Les inconvénients

Les revêtements à froid présentent cependant certains inconvénients qu'on ne peut passer sous silence:

- a) Le coût de l'émulsion considéré sur une base de bitume résiduel est plus élevé que celui du bitume solide employé dans les revêtements à chaud. Cet inconvénient ne s'applique cependant pas aux revêtements au bitume moussé, qui sont eux aussi fabriqués à partir de bitume solide.

b) Etant donné que le dosage en bitume des enrobés à froid ne peut à toutes fins utiles, atteindre celui des enrobés à chaud (par. 5.1.3) l'épaisseur du film de bitume y est plus mince et la porosité plus élevée. Ces deux facteurs conduisent à une durabilité inférieure et à une résistance plus faible sous l'effet du cisaillement qui se produit à la partie supérieure d'une couche de roulement au passage des véhicules. Le revêtement à froid ne convient donc pas aux couches de roulement soumises à un fort volume de circulation, et encore moins si elles ont été posées sur des routes sinueuses où les contraintes tangentielles sont forcément plus élevées. Il ne convient pas non plus aux routes où il est fait usage de sels déglaçants en hiver.

c) Contrairement aux revêtements à chaud qui acquièrent leur résistance rapidement par simple refroidissement, l'enrobé à froid exige une période de cure avant de pouvoir résister aux rigueurs de l'hiver et doit de ce fait être posé suffisamment tôt en saison. Les premiers jours qui suivent l'ouverture au trafic sont particulièrement critiques, principalement si les conditions climatiques sont défavorables.

9 EXIGENCES

9.1 Les matériaux utilisés dans la confection des enrobés à froid, de même que les méthodes de fabrication et de pose de ces revêtements doivent être conformes aux exigences applicables du cahier des charges.

TABLEAU II - Exigences des granulats utilisés dans les mélanges à l'émulsion pour couche de roulement. (D'après réf. 1, p. 89).					
Tamis	Pourcentage passant				
	A	B	C	D	E
50	100	—	—	—	—
38	90-100	100	—	—	—
25	—	90-100	100	—	—
19,0	60-80	—	90-100	100	—
12,5	—	60-80	—	90-100	100
9,5	—	—	60-80	—	90-100
4,75	20-55	25-60	35-65	45-70	60-80
2,36	10-40	15-45	20-50	25-55	35-65
300	2-16	3-18	3-20	5-20	6-25
75	0-5	1-7	2-8	2-9	2-10

9.2 Le granulat employé dans la confection des enrobés denses à l'émulsion pour usage en couche de roulement doit être conforme à l'une ou l'autre des granularités indiquées au tableau II sauf qu'en ce qui concerne les enrobés au bitume moussé, seules les granularités C ou D sont acceptables. Dans l'un et l'autre cas, l'agrégat doit en outre satisfaire les exigences suivantes:

- Equivalent de sable : > 35%
- Pertes à l'essai d'abrasion L.A. (500 rév.) : < 40%
- Pourcentage de concassé : > 50%

- 9.3 En ce qui concerne les traitements de surface doubles ou triples, la grosseur du granulat faisant partie d'une couche autre que la couche inférieure ne doit pas excéder la moitié de celle du granulat contenu dans la couche sous-jacente.

10 SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

Il serait assez difficile de résumer en quelques paragraphes le contenu du présent document. Ce dernier en effet constitue déjà un exposé assez succinct de plusieurs énoncés qui ont été glanés dans les références listées à la fin du présent guide et tient compte aussi de plusieurs expériences vécues au Ministère dans le domaine des revêtements à froid au cours des 12 ou 15 dernières années. Un certain regroupement des idées émises précédemment paraît cependant s'imposer autour des trois sujets mentionnés ci-après (par. 10.1, 10.2 et 10.3).

- 10.1 En ce qui concerne le dimensionnement et la mise en oeuvre des couches granulaires d'une chaussée neuve il faut retenir que:

a) Lorsqu'un matériau de classe A est posé sur une infrastructure gélive et imperméable, c'est-à-dire sur un sol plus ou moins silteux ou argileux, la surface de contact entre les deux matériaux doit être libre d'ornières et avoir une pente régulière vers les fossés (art. 2.2.3).

b) L'épaisseur d'une chaussée varie selon:

- le nombre et le poids des véhicules qui y circulent, les automobiles n'ayant en général qu'une influence assez marginale en ce domaine (art. 2.2.4 et 2.3);

- la nature et la portance de l'infrastructure (art. 2.2.3).

c) Les contraintes verticales produites par le trafic diminuent si rapidement en profondeur qu'à partir de 150 mm, elles n'excèdent guère la résistance d'un sable de classe A (par. 2.3 et 2.4). Plus près de la surface, le matériau utilisé doit être plus fort (CBR), ce qui ne peut s'obtenir que grâce à une granularité bien étalée, une teneur en pierre suffisante (40 à 65%), un pourcentage de concassé suffisamment élevé (> 50%) et une teneur en fines ne dépassant pas 8%. Ces exigences sont satisfaites par l'emploi d'un granulat 19-0A.

d) Les épaisseurs de sable classe A et de granulat 19-0A requises pour assurer une portance satisfaisante et un bon comportement de la chaussée dans le temps sont celles indiquées au tableau I.

10.2 En ce qui concerne les projets de renforcement (réhabilitations), il est recommandé que leur préparation se fasse selon la méthode décrite au paragraphe 2.4.3.

10.3 Pour ce qui est du revêtement, on retiendra ce qui suit:

a) Il n'est pas nécessaire que toute nouvelle construction ou toute amélioration importante se termine par la pose d'un revêtement. Il semble plutôt,

du moins en première approximation, qu'un revêtement à froid ne soit justifié que si le JMA excède 150 environ.

b) Employés comme couche de surface, les revêtements à froid doivent être mis en place tôt en saison (par. 4.2., 6.3 et 8.2-c), c'est-à-dire, avant les premiers jours de septembre environ. Si, pour diverses raisons, il s'avère difficile de se conformer à cette exigence, mieux vaut alors s'en tenir aux revêtements à chaud.

c) Employés comme couche de surface, les enrobés à froid présentent l'inconvénient d'être plus poreux que les revêtements à chaud (par. 5.1.3), ce qui les rend plus faibles mécaniquement et plus prompts à une dégradation superficielle par arrachement. Ils ne conviennent donc qu'aux routes faiblement fréquentées.

d) De tous les revêtements à froid, le double traitement de surface est sans doute celui qui a été employé avec le plus de succès dans le passé sur des bases granulaires (par. 4.2.2). En raison de sa faible épaisseur (environ 15 à 20 mm), il ne dure peut-être pas aussi longtemps que certains enrobés à froid bien réussis et ne contribue pas non plus autant que ces derniers à la capacité de support de la chaussée. Il possède en revanche l'avantage d'être plus facile et plus rapide à poser en plus d'être généralement peu coûteux. Le granulat qu'il requiert peut cependant s'avérer rare dans les régions éloignées.

e) Les enduits très minces tels les traitements de surface simples et les coulis de scellement ne peuvent s'appliquer que sur une couche bitumineuse existante dans les buts suivants (par. 4.2.1):

- Arrêter la dégradation superficielle de la couche et lui donner un aspect de neuf;
- Imperméabiliser un revêtement à froid posé quelques semaines auparavant pour accroître sa résistance aux intempéries.



Pierre De Montigny

- Pierre De Montigny, ing., M.Sc.
- Chef de la Division des Structures
de chaussées

PDM/hg

Références bibliographiques

- 1) Asphalt Institute (1979) A Basic Asphalt Emulsion Manual, MS-19, Mars 1979.
- 2) Asphalt Institute (1973) Asphalt Technology and Construction, ES-1, Janv. 1971.
- 3) Burmister, Donald M. (1943) The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways, HRB Proc., Vol. 23.
- 4) Lee, D.Y (1981) Treating Marginal Aggregates and Soils with Foamed Asphalt, Proc. AAPT, pp. 211-244.
- 5) Darter, M.I., Ashfield, Steven R., Patrick L., Devos Alois J., Wasill, Richard G (1979) Design of Emulsified Asphalt-Aggregate Bases for Low-Volume Roads, TRB-702.
- 6) Hassan, M.U et Said, G.M (1981) Management of Highway Investment in a Low Population Density Environment: The Saskatchewan Endeavour, RTAC Forum, Vol. 4, No 2.
- 7) Lévêque, J. (1977) La grave-émulsion, Rev. gén. des routes et des aérodromes, No 544, pp. 24-34.
- 8) Phang, W.A (1974) Flexible Pavement Design in Ontario, TRB 512.
- 9) Richard, Ronald (1984) Evaluation économique du pavage de chemins de gravier à faible volume de circulation; Routes et Transports, AQTR, Vol. 14, No 1.
- 10) Yoder, E.J. et Witczak, M.W (1975) Principles of Pavement Design, pp. 24-77.
- 11) Young, Fred D. (1982) Manitoba Asphalt Pavement Design Methods, réunion annuelle ARTC.

LA PRISE EN COMPTE DU GEL
DANS LA RÉNOVATION DES CHAUSSÉES

A1- INTRODUCTION

Il existe plusieurs méthodes de protection des chaussées contre le gel. La plupart d'entre elles font intervenir, dès l'étape de la conception, diverses considérations reliées à la profondeur du gel, à la nature du sol de support, à la profondeur de la nappe phréatique, etc.. On trouvera ailleurs* une description complète de ces méthodes, qui ont d'ailleurs été adoptées avec diverses variantes par plusieurs administrations. Nous voudrions plutôt, dans les lignes qui suivent, nous limiter au cas très concret de l'élimination des soulèvements différentiels produits par le gel pendant la saison hivernale. Nous serons ainsi amenés à parler de profondeur de gel, de la nécessité d'effectuer des transitions entre sols de gélivité différente et enfin de la façon de réaliser ces transitions.

A2- PROFONDEUR DE GEL

La profondeur de gel dans une région donnée est d'abord et avant tout fonction du climat. Elle est aussi reliée à divers autres facteurs et notamment à la teneur en eau du sol. En effet, s'il faut une certaine "quantité de froid" pour abaisser la température d'un sol sec, il en faut également pour abaisser celle de l'eau contenue dans le sol. Il s'ensuit qu'un sol humide est plus long à refroidir qu'un sol sec. De plus, étant donné qu'une forte "quantité de froid" est également requise pour transformer l'eau en glace, il est permis d'affirmer que l'eau du sol constitue une sorte de barrière à la propagation du gel. Les terrains argileux, qui ont presque toujours

* Corps of Engineers: "Engineering and Design; Pavement Design for Frost Conditions", EM-110-345-346.

de fortes teneurs en eau, seront donc moins pénétrés par le gel que les terrains bien drainés. Il s'agit là d'un facteur dont il faut tenir compte lorsqu'il faut déterminer avec précision ce que sera la pénétration du gel dans un lieu donné à partir de profondeurs mesurées dans des terrains de natures différentes ou à partir de données climatiques.

De semblables corrections sont également requises en terrain montagneux pour tenir compte de l'altitude. C'est ainsi que dans le Parc des Laurentides, la profondeur du gel est supérieure à celle enregistrée dans chacune des régions adjacentes au nord (Lac St-Jean) et au sud (Québec).

D'une façon générale, il sera toutefois satisfaisant d'utiliser en design les profondeurs moyennes mentionnées ci-dessous:

- Extrémité sud-ouest de la province	1250 mm
- Régions de Montréal et Sherbrooke	1350 mm
- Région de Québec	1750 mm
- Régions du Lac St-Jean, de Baie-Comeau & la Gaspésie	1900 mm
- Régions de Val D'Or & Rouyn-Noranda	2100 mm
- Régions de Mistassini, Chibougamau & Parc des Laurentides	2400 mm

A3- QUAND REALISER DES TRANSITIONS

Le soin à apporter à la confection des transitions lors de la construction d'une chaussée nous semble particulièrement rigoureux dans les cas suivants:

- Pistes d'aéroports assez fortement circulées,
- Routes à grand trafic et à circulation rapide,

- Terrains de gélivité variable, notamment les zones de contact entre des sols silteux et des affleurements de roc à surface très irrégulière. De telles masses rocheuses conduisent fréquemment à des conditions de drainage très pauvres et à des pentes parfois accentuées du contact roc/sol dans la couche même qui est pénétrée par le gel en hiver.

Dans les trois cas précités, il est évident que l'exécution de transitions selon le procédé applicable de la norme 3.2.5 du ministère, est de rigueur lors de la construction d'une chaussée neuve.

Il n'en va pas tout à fait de même cependant lorsque le but recherché est d'éliminer ou simplement de réduire à un niveau acceptable certains soulèvements qui se manifestent en hiver sur des routes déjà construites, plus ou moins fréquentées et à circulation lente ou moyenne. On comprendra qu'en théorie, la solution pourrait alors varier considérablement d'un cas à l'autre. En réalité cependant, il paraît normal d'affirmer que s'il vaut la peine d'excaver jusque dans l'infrastructure, aussi bien le faire de façon telle que le résultat soit au moins satisfaisant.

A4- COMMENT REALISER LES TRANSITIONS

Etant donné que les soulèvements différentiels sont pour une bonne part le reflet d'une hétérogénéité de l'infrastructure, leur correction requiert presque nécessairement une homogénéisation de la partie supérieure de l'infrastructure qui est pénétrée par le gel en hiver. C'est pourquoi, les excavations requises localement pour corriger certains méfaits du gel doivent être exécutés selon les indications suivantes:

- a) Leurs profondeurs mesurées à partir de la surface finie de la route ne doivent jamais, même dans les régions les moins froides de la province, être inférieures à 1000 mm dans le cas des routes locales

et à 1300 mm dans les autres cas. Dans les régions plus froides, elles doivent atteindre au moins les $\frac{2}{3}$ de la profondeur de gel pertinente à la région concernée (par. A2) sans toutefois excéder 1400 ou 1800 mm selon qu'il s'agit d'une route à faible ou fort volume de circulation.

- b) Les pentes des excavations doivent être régulières et conformes aux normes 3.2.5.1, 3.2.5.2 ou 3.2.5.3 selon le cas qui s'applique. Dans le cas de sols hétérogènes dont les surface de contact recourent l'infrastructure avec un angle prononcé (norme 3.2.5.2), le recours à des pentes 5:1, au lieu de 20:1, est toutefois permis sous la ligne d'infrastructure à la condition que le remblayage soit effectué avec un matériau dont la gélivité (et dont la teneur en fines) se rapproche de celle du sol présent dans les parois de l'excavation ou avec un mélange des deux sols en présence. On pourra ainsi réutiliser les matériaux d'excavation à la condition qu'ils soient densifiables et même si, pour ce faire, on doit les faire essorer avant de les densifier.

Au-dessus de l'infrastructure, une pente 3:1 sera suffisante.

- c) Le remblayage et le compactage des zones ainsi excavées doivent être exécutés selon les exigences applicables du cahier des charges. De plus, la surface de l'infrastructure dans ces mêmes zones doit être bien profilée et les conditions de drainage telles qu'aucune accumulation d'eau ne soit possible et ne favorise la formation de soulèvements différentiels en hiver.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 102 128