

COMPORTEMENT DE PLUSIEURS  
TRONCONS ROUTIERS AMELIORES  
SELON DES PROCEDES DIFFERENTS

CANQ  
TR  
GE  
SM  
157



480 327

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

COMPORTEMENT DE PLUSIEURS  
TRONCONS ROUTIERS AMELIORES  
SELON DES PROCEDES DIFFERENTS

Pierre DeMontigny, ing. M.Sc  
Chef de la Division des Structures  
de Chaussées  
Service des Sols  
Ministère des Transports (Qué.)

Texte présenté à la conférence annuelle de  
L'Association des Routes et Transports du Canada  
du 12 au 16 septembre 1976, à Québec

CANQ  
TR  
GE  
SM  
157

## SYNOPSIS

Sur la majorité du parcours reliant les villes de Québec et de Chicoutimi, la route 175 est exposée à des conditions climatiques extrêmement rudes. Celles-ci se traduisent par des hivers très longs et très froids et conduisent à une pénétration du gel de 90 et même 100 pouces de profondeur.

En 1973, après 25 ans de service, la route manifestait une qualité de roulement très pauvre, une fissuration extrêmement prononcée et divers soulèvements par le gel. Ces bris étaient cependant variables et la portance de la chaussée paraissait assez acceptable. Il était donc permis de croire que plusieurs des secteurs les moins brisés pourraient être convenablement réparés à l'aide de simples recouvrements de béton bitumineux.

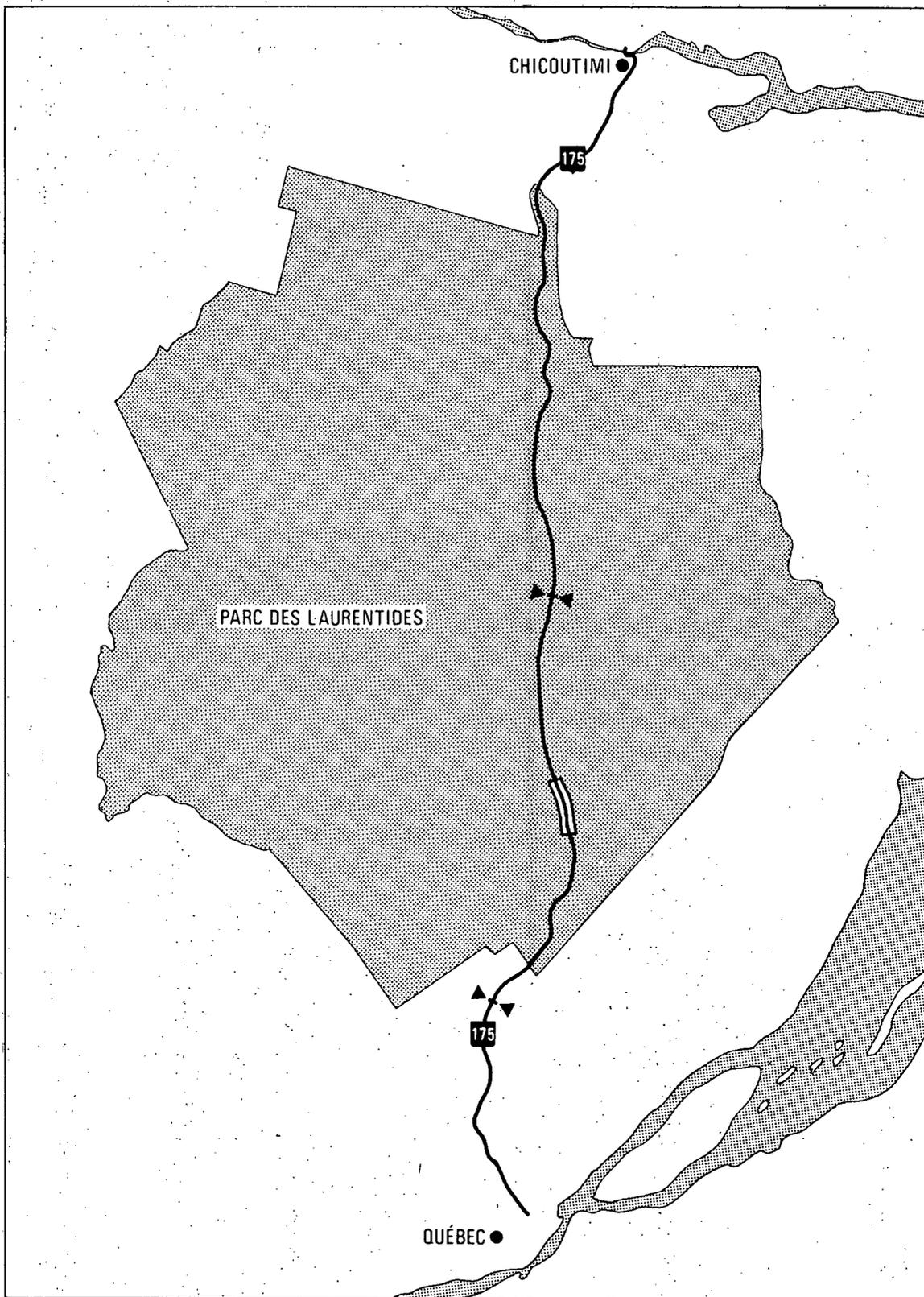
Sur un tronçon expérimental de 6.7 milles, on eut d'abord recours à des recouvrements bitumineux qui étaient tantôt amiantés, tantôt renforcés à leur base par une toile imperméable très forte en traction, tantôt enfin isolés du vieux revêtement par une couche intermédiaire flexible fabriquée à partir d'un bitume mou. Dans d'autres secteurs plus mauvais, on eut recours à des procédés plus élaborés prévoyant tantôt un rechargement granulaire au-dessus du revêtement existant, tantôt une scarification de l'ancien revêtement suivi d'un rechargement granulaire. Les résultats obtenus avec chacun de ces procédés sont analysés sous les aspects suivants:

- Fréquence des fissures transversales Vs âge;
- Qualité du roulement Vs âge;
- Qualités des roulements d'hiver et d'été.

Les divers recouvrements en béton bitumineux, de l'avis de l'auteur, jettent un éclairage nouveau sur certains phénomènes observés fréquemment en hiver surtout dans les régions très froides.

## INTRODUCTION

Les tronçons qui font l'objet de la présente étude sont tous situés sur la route 175, laquelle relie Québec à Chicoutimi. Ils sont échelonnés sur une distance de 44 milles et débutent quelque 25 milles au nord de



Localisation de la section expérimentale

Québec. En cet endroit, la route repose à une altitude d'environ 1300 pieds mais s'élève rapidement pour atteindre près de 2400 pieds à 11 milles plus au nord et pour se maintenir généralement par la suite entre 2400 et 2800 pieds.

La route avait originellement été ouverte à la circulation en 1948. Si l'on tient compte de l'époque où elle fut construite, des terrains accidentés qu'elle traversait et du trafic plutôt léger qu'elle allait déservir au début, on peut dire que du point de vue structural comme du point de vue géométrique, elle avait été conçue selon des critères très élevés.

L'augmentation du trafic et les rigueurs du climat ne tardèrent pas cependant à laisser leurs traces. Bientôt, fissures et bris divers firent leur apparition et la route dut finalement être revêtue en entier entre 1959 et 1964. Peu d'années après, on parlait déjà de fissuration précoce et même de dépenses à rendement douteux.

Les sels déglaçants qui avaient fait leur apparition de façon un peu timide au cours des années 50 mais qui gagnèrent vite une grande popularité n'étaient évidemment pas étrangers à une telle détérioration. À cela vint s'ajouter vers le milieu des années 60 la vogue grandissante des pneus à clous, laquelle atteignit son point culminant vers l'hiver 70-71 alors que, parmi les usagers de la route 175, on évalua à environ 70 le pourcentage des automobiles munies de tels pneus. Ce pourcentage est cependant nettement à la baisse depuis quelques années.

#### ETAT AVANT REFECTION

Au printemps de 1973, il devint manifeste qu'une réfection majeure s'imposait. Le Service des Sols fut alors chargé de mener une étude et de formuler des recommandations quant au mode de réfection qui devrait être adopté. Une étude sommaire basée sur quelques relevés visuels et sur la banque de données accumulées par la section de l'inventaire routier eut vite fait de démontrer que:

- La route avait en général une portance assez satisfaisante.

- Les fissures transversales étaient très nombreuses, n'étant espacées que de 8 ou 10 pieds les unes des autres. Ces dernières étaient en outre fréquemment recoupées de fissures longitudinales donnant lieu à un réseau en forme de quadrilatères.
- En maints endroits et notamment dans les pentes, on notait des protubérances abruptes des lèvres des fissures, accompagnées ici et là de bris, ce qui rendait la conduite assez peu confortable à haute vitesse pour les automobilistes. Remarquons toutefois que les cahots de grande amplitude étaient très rares.
- Le drainage en maints endroits était déficient ce qui, notamment dans les secteurs en flanc de pentes, semblait cause d'infiltration d'eau dans les fondations, de soulèvements plus ou moins accentués en hiver et de divers bris du revêtement.

#### TRONCON EXPERIMENTAL

A partir du moment où il avait été démontré que la route dans son ensemble avait une portance satisfaisante, la solution recherchée paraissait résider davantage au niveau du revêtement. Plus précisément, il s'agissait d'imaginer une façon de mettre en place une nouvelle couche bitumineuse qui pût résister à la fissuration et qui fût en même temps en mesure de conserver une qualité de roulement satisfaisante pendant une période suffisamment longue.

Dans ce but, nous crûmes bon de procéder à certaines expériences sur un tronçon de 6.7 milles de longueur. Ce dernier reposait à une altitude de 2500 à 2600 pieds, sur un terrain tantôt horizontal, tantôt faiblement ondulé et constitué d'un sol apparemment peu variable. Le revêtement, là comme ailleurs, était cependant très fissuré (tableau 1).

Nous avions d'abord prévu dix planches d'essais contiguës ayant chacune son type et son épaisseur propres. Notre but était alors d'étudier l'influence respective des facteurs suivants vis-à-vis le phénomène de réflexion des fissures dans une nouvelle couche posée au-dessus d'un vieux revêtement:

- L'épaisseur de la couche,

**Tableau 1 - Description et comportement des planches d'essais réalisées en 1973.**

Distance (mi.) du bout sud		0.00	0.83	1.53	2.17	2.83	3.59	4.30	4.90	6.72	
Planche N°		1	2	3	4	5	6	7	8		
Composition du recouvrement bitumineux total	Couche supplémentaire posée (125 lbs/v.ca.)	non   oui	← non →		← oui →			non	← oui →	← non →	
	Couche expérimentale										
	- Lbs/v.ca.	218	218	202	217	205	163	194	149		
	- Amiante (%)	nil	1%	nil	2%	1%	nil	2%	nil		
	- Toile	non	non	oui	oui	non	non	non	non		
	Couche de corr. (lbs/v.ca.)	64	64	64	64	64   68	68	68	68		
	Pente moyenne (%)	0.27	0.08	0.09	0.09	0.77	1.52	0.98	1.34	0.55	
	Nombre de fissure / mille										
	- Avant réfection	← 483 →		← 615 →			← 576 →		504		
	- 8 mars 1974	94	130	158	77	57	138	81	129		
	- 14 février 1975	116	181	202	78	60	189	104	212		
	- 26 février 1976	172   97	195	228	91	92	183   295	162	276		
	Indice Mays (po./mi.)										
	- 8 mars 1974	21	25	22	18	20	26	17	28		
	- 16 octobre 1974	11	16	11	10	9	11	8	11		
	- 31 janvier 1975	22	29	20	16	22	46	27	44		
	- 12 février 1976	28   20	35	25	22	29	60   65	38	54		

- La teneur en amiante du mélange,
- La présence à la base de la couche d'une toile de renfort non extensible et très forte en traction.

Notre programme fut cependant quelque peu perturbé par des problèmes qui survinrent lors de la réalisation sur le chantier et qui découlaient d'un bitume non conforme aux normes admises. Ce dernier était notamment beaucoup trop mou, beaucoup plus en tout cas que celui de 150-200 de pénétration qui avait été prévu originellement. Ceci occasionna du ressuage en plusieurs endroits et nécessita finalement la pose d'une couche supplémentaire, faite cette fois à partir d'un bitume 150-200, partout où le bitume avait été employé (voir tableau 1).

Ce bitume non conforme rend sans doute plus difficile l'évaluation des divers procédés de resurfaçage qui avait été prévus au tout début. Il faut bien se souvenir cependant que l'emploi d'un bitume mou, à moins d'être cause d'instabilité excessive, laquelle pourrait se traduire par de l'orniérage ou du repoussage (ce qui ne fut pas le cas), ne peut être que bénéfique au point de vue fissuration. Pourtant, toutes les planches expérimentales sans exception se fissurèrent dès le premier hiver, le nombre de fissures par mille variant alors de 57 pour la planche #5 à 158 pour la planche #3.

Ces résultats furent évidemment considérés trop pauvres pour que l'un ou l'autre des procédés concernés puisse être utilisé dans les zones les plus brisées de la route. Compte tenu en outre des difficultés éprouvées lors de la pose du revêtement et des coûts entraînés, soit par l'addition d'amiante, soit par l'emploi de la toile de renfort, il ne semblait même plus avantageux de faire usage d'autre chose que d'un béton bitumineux ordinaire à quelque endroit que ce fût.

#### MODES DE REFECTION ADOPTES

L'éventail des solutions paraissait donc se rétrécir considérablement. Etant donné en outre que des voies auxiliaires pour camions étaient requises en maints endroits, que plusieurs secteurs étaient très délabrés, que les alignements vertical et horizontal pouvaient n'être pas toujours conformes aux normes actuelles du Ministère, la solution la plus simple, de

l'avis de certains, résidait dans une reconstruction complète. Nous étions toutefois plutôt d'avis qu'en autant que la géométrie de la route le permettait, il était plus avantageux de construire au-dessus de la route existante, et ceci, pour plusieurs raisons:

- On pouvait ainsi à meilleur compte obtenir une chaussée moins gélive.
- On réduisait les quantités de matériaux granulaires requises, ce qui, en retour, se traduisait par une réduction des coûts et une réduction des dommages causés à l'environnement.
- Cela permettait enfin d'utiliser la route comme une sorte de planche d'essai dans le but notamment de délimiter avec précision certains secteurs plus gélifs qui pourraient nécessiter soit une couche de granulaire plus épaisse au-dessus de la vieille chaussée, soit même l'emploi d'un isolant thermique dans des secteurs restreints, particulièrement cahoteux en hiver. Un tel isolant fut d'ailleurs utilisé dans cinq zones d'une longueur globale de 1650 pieds et donna dans chaque cas d'excellents résultats.

On notera que l'utilisation de l'ancienne chaussée comme planche d'essai, notamment pour ce qui est du comportement en hiver, constitue sans doute un avantage plus important dans les endroits où les propriétés du sol et la profondeur de la nappe phréatique varient rapidement. Il va sans dire que de telles variations sont plus susceptibles de se produire dans les régions montagneuses comme celle que traverse justement la route sous étude.

Nous avons finalement opté pour deux procédés que nous croyions tous deux assez bien adaptés aux tronçons les plus détériorés (fig. 1):

- Le premier, dit procédé A, consistait à scarifier et enlever le revêtement existant, à scarifier ensuite la couche granulaire sur une épaisseur minimum de six pouces pour l'homogénéiser et la débarrasser de certaines pierres qu'elle pouvait contenir. On devait ensuite redensifier cette couche granu-

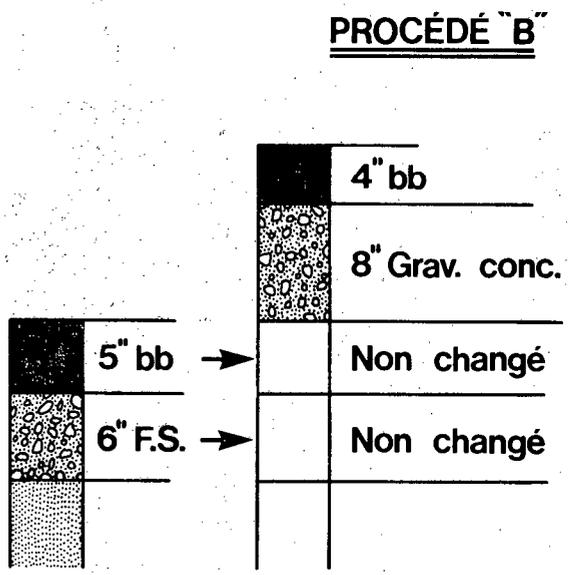
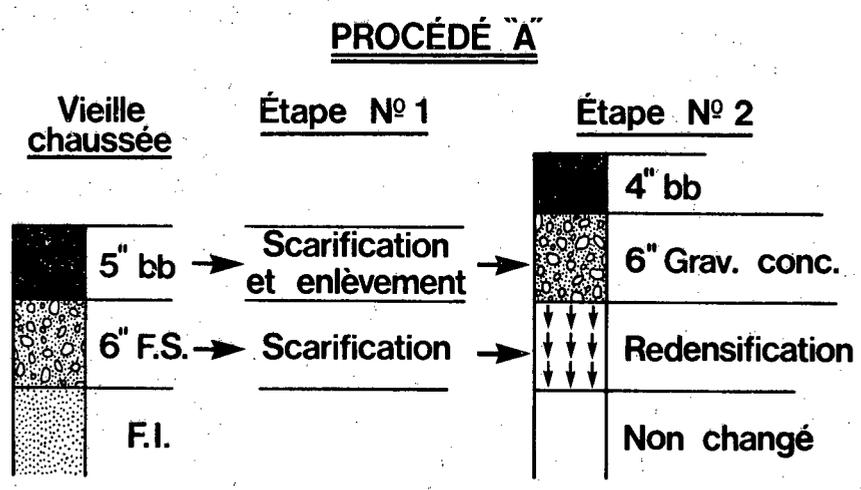


Fig. 1 - Illustration schématique des procédés "A" et "B" de réfection.

laire, lui ajouter six pouces de gravier concassé et finalement quatre pouces de béton bitumineux.

- Le second, dit procédé B, consistait simplement à recouvrir la chaussée existante de huit pouces de gravier concassé et finalement de quatre pouces de béton bitumineux.

L'un et l'autre procédés susmentionnés se comportent très bien jusqu'à maintenant, bien que le premier paraisse un peu plus variable et en général plus fissuré que le second. Notons que l'épaisseur de la chaussée est accrue de six pouces par l'application du procédé A et de 12 pouces par celle du procédé B. Il est donc normal de s'attendre à obtenir avec le premier une moins bonne protection contre le gel, d'autant plus qu'il n'a été employé que dans les côtes, ce qui veut dire, dans des secteurs peut-être un peu plus mauvais que ceux qui furent réparés selon le procédé B.

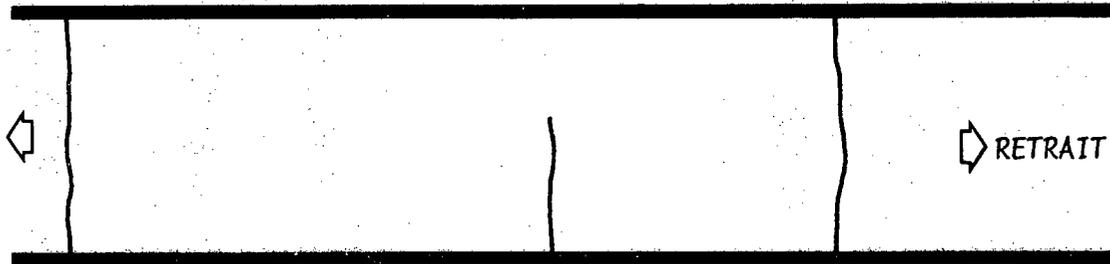
#### COMMENTAIRES

Avant d'en venir aux conclusions qui découlent des faits ou observations mentionnés plus haut, il peut être à propos de réfléchir un peu sur certains phénomènes qui sont susceptibles de se produire dans une chaussée au cours de l'hiver.

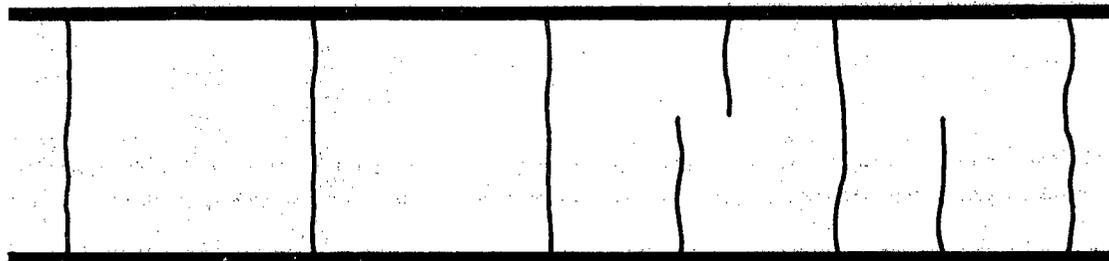
##### a) Le retrait thermique

On sait d'abord que sous l'effet du froid, le revêtement bitumineux se contracte, son coefficient de retrait thermique étant même beaucoup plus élevé que celui du béton de ciment ou de l'acier. Il n'est donc pas surprenant que ce soit en hiver qu'apparaissent les fissures de retrait. Elles sont normalement perpendiculaires à la contrainte maximum, laquelle s'exerce forcément dans une direction parallèle à la route (fig. 2). Avec le temps, le revêtement s'oxyde, durcit et devient plus fragile aux basses températures. Ceci, ajouté à la fatigue qu'il subit forcément sous les passages répétés des véhicules, fait qu'avec le temps, le revêtement devient de plus en plus prompt à la fissuration. Lorsque la distance entre deux fissures consécutives devient moindre que la largeur de la route, la contrainte maximum change de direction et devient perpendiculaire à l'axe de la route. On constate alors l'apparition de fissures longitudinales

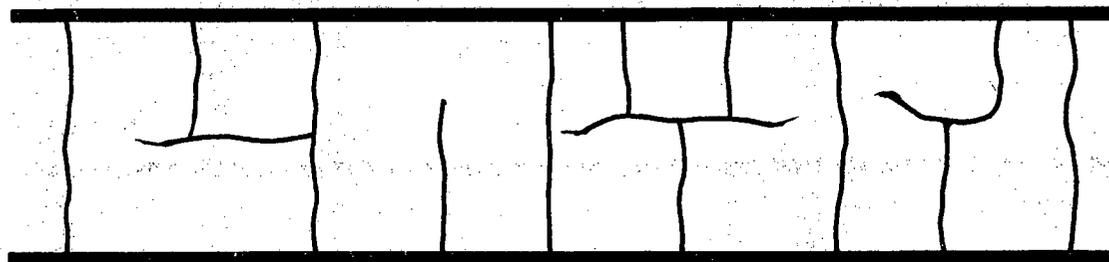
**ÉTAPE A**



**ÉTAPE B**



**ÉTAPE C**



**ÉTAPE D**

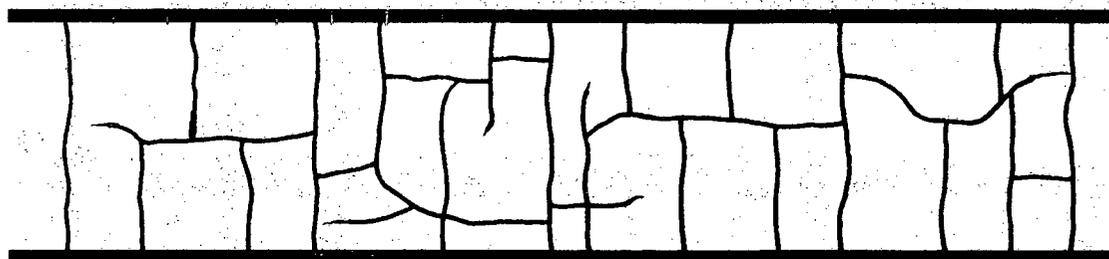


Fig. 2 - Formation des fissures de retrait dans un revêtement bitumineux

pour donner finalement lieu en maints endroits à un réseau en forme de quadrilatères. C'est là un genre de fissuration qui était assez commun sur la route 175 avant sa réfection.

b) L'action du sel

Que se passe-t-il maintenant lorsque du sel est déversé sur la route? Ce dernier fond d'abord la neige ou la glace qui s'y trouve, ce qui donne lieu à une solution saline qui demeure liquide à des températures relativement basses. Dans les terrains en pente, cette solution s'écoule en surface dans une direction parallèle à l'axe de la route et rencontre les fissures transversales dans lesquelles elle pénètre à des profondeurs variables, occasionnant du même coup le dégel du matériau granulaire adjacent aux fissures. On obtient finalement des blocs gelés, plus ou moins séparés les uns des autres par des bandes malléables, saturées d'eau (fig. 3).

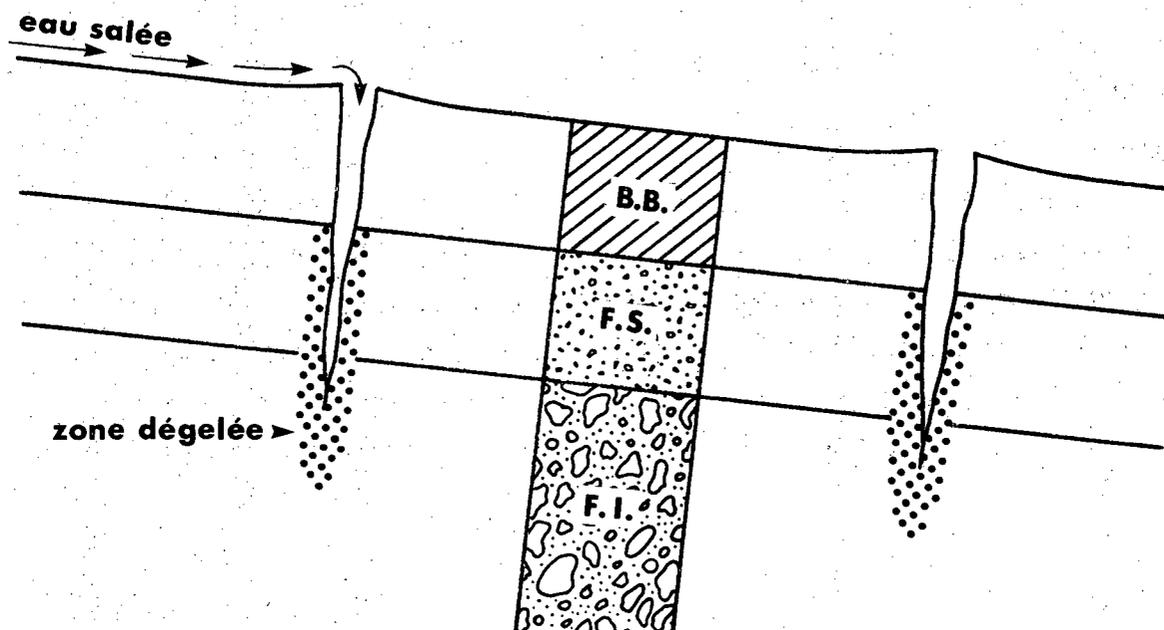


Fig. 3 - Coupe longitudinale schématique illustrant comment l'infiltration d'eau salée dans les fissures transversales peut être cause d'hétérogénéité et de mouvements verticaux différentiels.

c) La cause des dénivellations aux fissures

La conception que nous venons de nous faire d'une chaussée gelée et des phénomènes qui s'y produisent, fournit en même temps certaines explications aux dénivellations observées fréquemment aux fissures transversales. Plus précisément, on peut relier ces dénivellations à l'un ou l'autre des phénomènes suivants:

- Une baisse de température occasionnant le gel du matériau sous-jacent aux fissures. Par suite de la forte quantité <sup>d'eau</sup> qui s'y trouve, cette congélation s'accompagnerait d'une dilatation relativement forte et donc de l'apparition d'une protubérance en surface au voisinage de la fissure.
- Un certain pompage se produisant aux fissures de façon similaire à ce qui se produit dans les pavages rigides aux joints des dalles de béton de ciment. Ce phénomène serait sans doute plus plausible au début de l'hiver et lorsque l'eau inonde la fissure.
- Une expansion du volume des blocs gelés résultant de variations thermiques. Cette expansion provoquerait une compression horizontale du matériau saturé et non gelé situé à proximité des fissures et serait suffisante pour l'expulser partiellement vers le haut.

d) Le rôle de la toile

Des phénomènes tels que ceux que nous venons d'énumérer sont à notre avis très plausibles. De toute façon, ceux qui se produisent réellement sont certainement plus complexes que ne le serait un simple retrait thermique du revêtement bitumineux. Si tel était le cas en effet, on pourrait s'attendre à ce que la présence d'une toile très forte à la traction posée à la base d'une nouvelle couche d'usure constituerait un obstacle efficace à la propagation des fissures vers la surface. La toile posée dans les planches 3 et 4 avait pourtant la force désirée puisque des carottes prélevées dans les fissures les plus grosses ont bel et bien démontré que la toile ne s'était

pas déchirée même là où la fissure observée au-dessus de la toile n'était que le prolongement d'une autre présente dans l'ancien revêtement. Malgré cela, une comparaison des planches 1 et 3 ou encore des planches 4 et 5 démontre que la toile n'eut que peu d'influence sur le nombre de fissures réfléchies. Ceci, à notre avis, tend à démontrer que les fissures de réflexion ne résultent pas uniquement d'un retrait thermique du revêtement bitumineux.

D'un autre côté, on notera que les hypothèses que nous avons formulées plus haut sur l'origine des dénivellations aux fissures faisaient toutes plus ou moins appel à une pénétration d'eau dans la base granulaire. On peut donc se demander si ces dénivellations ne seraient pas éliminées par la présence de la toile imperméable précitée malgré l'impuissance manifeste de cette dernière à restreindre de façon sensible le nombre de fissures de réflexion. Un coup d'oeil au tableau 1 montre en effet que la planche 3, munie d'une telle toile, bien que plus fissurée que la planche 2 en février 1976, possédait quand même une meilleure qualité de roulement (indice Mays plus bas). Une comparaison des planches 4 et 5 conduit à une constatation similaire. Enfin, le fait que les deux seules planches munies de toile soient celles qui après trois hivers (avec la planche 1 peut-être) manifestent encore la meilleure qualité de roulement et soient en même temps celles qui au cours de ces trois mêmes hivers aient décliné le moins, laisse croire à un rôle de la toile en ce domaine.

#### e) La prévention des fissures

Si toutefois, pour diverses raisons, l'emploi d'une toile ne s'avérait pas toujours pratique, il se peut que la limitation des fissures de réflexion demeure pour longtemps encore l'objectif à atteindre.

On sait depuis plusieurs années déjà que le recours à des bitumes à indice de pénétration élevée constitue une partie de solution au problème de fissuration. Le procédé devient cependant insuffisant dans le cas des recouvrements posés sur des surfaces très fissurées et très raboteuses. Plus précisément, il s'avère impuissant à empêcher la réflexion des fissures les plus larges qui sont le site de mouvements plus prononcés au cours de l'hiver. Certains experts prétendent cependant (réf. 10), qu'une couche intermédiaire

de mélange très pierreux et très ouvert serait fort efficace à ce point de vue. Un tel mélange ainsi employé, par suite de sa forte teneur en vides et de sa faible résistance au cisaillement et à la traction, constitue sans doute une sorte de tampon entre le vieux revêtement fissuré et la couche de surface.

C'est sans doute un rôle identique que joue la couche de gravier dans le procédé "B" de réparation mentionné plus haut. C'est aussi celui que joue le mélange à résistance très faible, contenant un bitume non conforme et que l'on dut recouvrir d'une couche de béton bitumineux classique (bitume 150-200) dans les sections indiquées au tableau 1. Partout en effet, où cette couche intermédiaire à bitume mou a été employée, les fissures dans la couche de surface sont beaucoup moins nombreuses.

Ceci suggère donc qu'une bonne façon de réduire la fréquence des fissures de réflexion dans une nouvelle couche d'usure serait d'avoir recours à un matériau très souple qui ne se fissurerait pas sous l'effet des faibles mouvements qui se produisent dans les couches sous-jacentes. Nous pensons ici à certains bitumes ou mastics bitumineux conservant leurs propriétés plastiques même aux très basses températures et qui pourraient être employés non seulement pour obturer les fissures par l'intérieur, mais également pour les recouvrir d'une bande flexible de quelques pouces de largeur (fig. 4-d). Il va sans dire que ce procédé, même non accompagné d'une nouvelle couche d'usure, nous semblerait comporter plus de chances de succès que celui illustré à la figure 4-b.

Le cas des revêtements très fissurés est plus difficile puisque l'obturation individuelle de chaque fissure devient alors trop coûteuse. On se voit donc obligé dans ce cas à avoir recours à une couche continue de mastic ou d'un autre matériau imperméable très souple (fig. 4-c). Ce dernier peut malheureusement conduire à une instabilité excessive et compromettre la stabilité de la chaussée.

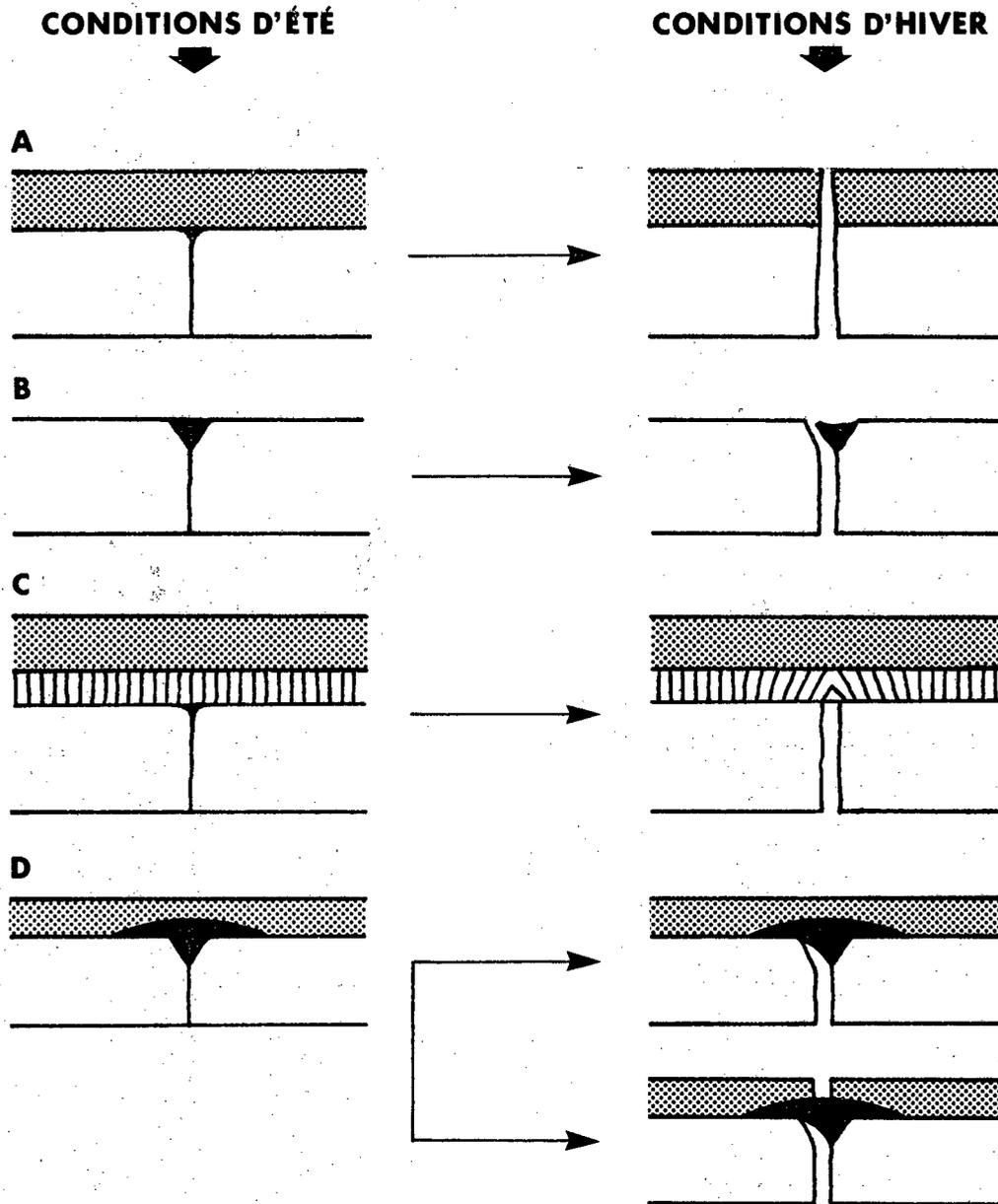


Fig. 4 - Quatre types de réparations effectués en été et comportements auxquels l'on peut s'attendre dans chaque cas au cours des hivers suivants. (a): Simple couche d'usure posée au-dessus d'un vieux revêtement fissuré. (b): Obturation de fissures. (c): Vieux revêtement recouvert d'abord d'une couche très souple et très flexible et ensuite d'une couche d'usure classique. (d): Obturation des fissures et pose d'une couche d'usure.

A notre avis, il faudra au cours des prochaines années que les chercheurs consacrent une partie de leurs efforts à la découverte de matériaux qui, en hiver comme en été, pourront afficher les propriétés recherchées de flexibilité, de plasticité et de stabilité. La solution complète à ce problème n'est sans doute pas pour demain, mais il est probable qu'une recherche de base sur certaines substances (matières fibreuses, caoutchouc, etc.) qui pourraient être ajoutées à des mastics, à des sables bitumes ou des micro-bétons, nous amèneraient dans un proche avenir sur des sentiers prometteurs.

TABLEAU 2 - Comportement de plusisuers tronçons réparés selon les procédés A et B et comparés à celui de la planche 4 (la meilleure) et à celui de la planche 8 (simple couche d'usure).

Caractéristiques	Procédé de réparation			
	A	B	PL 4	PL 8
Réalisation	1974	1974	1973	1973
Topographie	Accidentée	Accidentée à ondulée	Horiz.	Ondulée
Fiss. trans./mi. à l'âge de 2 ans.	53	22	80	225±
Indice Mays à la fin du 1er hiver	15	16	18	28
2e hiver	17	17	17	44
3e hiver	--	--	22	54
Ind. Mays au 15-06-76	12	13	9	15
Tronçons étudiés	5	5	1	1
Long. globale (mi.)	6.9	12.3	0.66	1.8

CONCLUSION

Résumons pour terminer, les principales conclusions qui ressortent des faits ou observations que nous venons de discuter.

- L'emploi d'une toile imperméable de renfort à la base d'un recouvrement de béton bitumineux a paru efficace pour éliminer ou tout au moins pour atténuer les soulèvements aux fissures. Il n'a toutefois eu que peu d'influence sur le nombre de fissures réapparaissant par la suite dans le recouvrement.
- L'emploi d'amiante dans le mélange n'a, de façon appréciable, affecté ni le nombre de fissures réfléchies en surface, ni la qualité du roulement au cours des hivers subséquents.
- Le recours à un bitume mou contribue à une réduction du nombre des fissures réfléchies même si le bitume en question ne fait pas partie de la couche de roulement mais plutôt d'une couche située à un niveau inférieur. Celle-ci constitue sans doute dans ce cas un tampon entre la structure fissurée sous-jacente et la nouvelle couche d'usure.
- C'est probablement le même rôle que joue la couche de gravier au-dessus d'un vieux revêtement dans le procédé B mentionné plus haut et c'est la raison pour laquelle la dite couche est si efficace pour éliminer les fissures de réflexion.
- Les tronçons réparés selon les procédés A ou B se comportent tous très bien jusqu'à maintenant au point de vue roulement (tableau 2). D'une façon générale, les premiers sont cependant plus fissurés, et surtout, la fréquence de leurs fissures varie davantage d'un tronçon à l'autre.
- Le bon comportement enregistré encore au cours du dernier hiver dans quelques planches expérimentales et notamment dans celles portant les numéros 3 et 4 mérite des études supplémentaires. Malgré leur situation sur un terrain relativement peu

difficile et leur niveau de fissuration plus élevé que celui des tronçons réparés selon les procédés A ou B, la bonne qualité de roulement qu'elles ont continué à donner au cours de leurs troisième hiver a quelque chose d'étonnant.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Barkskale, Richard D. et Leonards, Gerald A. "Predicting Performance of Bituminous Surfaced Pavements", 2nd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, 1967.
2. Breen, Joseph J. et Stephens, Jack E. "A Thermal Stress Resistance Parameter as a Measure of the Crack Susceptibility of Flexible Pavements", Annual Meeting CTAA, Nov. 1968.
3. Burgess, R.A., Kopvillem, O. et Young, F.D. "Ste-Anne Test Road-Flexible Design to Resist Low Temperature Cracking", 3rd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, London, 1972.
4. Carpenter, S.H., Lytton, R.L. and Epps Jon A. "Pavement Cracking in West Texas due to Freeze-Thaw Cycling", Transportation Res. Rec. 532, 1975.
5. Culley, R.W. "Transverse Cracking of Flexible Pavements in Saskatchewan", Saskatchewan Dept. of Highways, Technical Rept. 16, 1972.
6. Dufour L. "Comportement d'un revêtement bitumineux contenant des fibres d'amiante en regard du comportement d'un revêtement conventionnel", Réunion annuelle de la CTAA, 1971.
7. Fromm, H.J. and Phang, W.A. "A Study of Transverse Cracking of Bituminous Pavements", Dept. of Transportation and Communication of Ontario, RR Report 176, 1972.
8. Hass, R.C.G. "Low Temperature Performance and Behaviour of Flexible Pavements", CTAA, Vol XIII, 1968.
9. Hajek, J.J. et Haas R.C.G. "Some Factors Influencing Low-Temperature Cracking of Flexible Pavements and their Measurement", Annual Meeting CTAA, 1971.

10. Hensley, M.J. et Rownd, B. "Good-Bye Reflective Cracking?" Rural and Urban Roads, Dec. 1973.
11. McLeod, N.W. "Transverse Pavement Cracking Related to Hardness of the Asphalt Cement", CTAA 1968.
12. Phang, W.A. "Four Years' Experience at the Brampton Test Road", Dept. of Highways of Ontario, RR 153, 1969.
13. Roads and Transportation Assoc. of Can. "Low Temperature Pavement Cracking Studies in Canada", 3rd Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol 1, Proc., London.
14. Tessier, G.-Robert, "Guide de Construction Routière", 2e édition, Ministère des Transports du Québec, 1973.
15. Yoder, E.J. Witzak, M.W. "Principles of Pavement Design, 2nd Edition, John Wiley and Sons", Inc. 1975.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 102 603