MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
PLACE HAUTE-VILLE, 24e ÉTAGE
700 EST, BOUL. ST-CYRILLE
QUÉBEC, QUÉBEC, G1R 5H1

LA REFLEXION DES FISSURES DANS LES
REVETEMENTS BITUMINEUX AU QUEBEC

CANQ
TR
GE
RC
146

Ministère des Transports
Direction recherche et controle
Service du laboratoire central

432603

LA REFLEXION DES FISSURES DANS LES REVÊTEMENTS BITUMINEUX AU [illegible]

CENTRE DE DOCUMENTATION
SEP 12 1984
TRANSPORTS QUÉBEC

QTRD
CANQ
TR
GE
RC
146

85-02-06

SEP 1984
TRANSPORTS QUÉBEC

LA RÉFLEXION DES FISSURES DANS LES REVÊTEMENTS BITUMINEUX AU QUÉBEC

RICHARD LANGLOIS, ING.
Chef de la Division Matériaux
Laboratoire Central
Ministère des Transports
Québec

GILLES DESROCHERS, ING.
Section Revêtements Bitumineux
Laboratoire Central
Ministère des Transports
Québec

Richard Langlois

Remerciements

Les auteurs désirent remercier M. Pierre Demontigny et son groupe pour leur précieuse collaboration dans les mesures de portance et d'uni de la chaussée. Des remerciements s'adressent également à M. Gérard Moreau pour avoir dessiné les figures avec le mini-ordinateur. Ils veulent également souligner l'aide précieuse de Mlle Monique Gauthier qui a dactylographié le texte. Un merci spécial est adressé au district 33 et à leur technicien Jean-Claude Trudel pour le relevé des niveaux et de la fissuration.

RÉSUMÉ

Plusieurs sections expérimentales de routes ont été réalisées au Québec pour tenter de trouver une solution économique au problème des fissures de réflexion dans les revêtements bitumineux. La présente étude discute du mécanisme de rupture avec une brève revue bibliographique, fait une synthèse des sections expérimentales du Québec, et présente les principales conclusions tirées de ces expériences. Une analyse plus détaillée de l'expérience de la route 161 est offerte et une discussion générale compare les résultats du Québec avec ceux des sections expérimentales des Etats-Unis.

Avec les résultats obtenus jusqu'à ce jour, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

Le mélange ouvert diminue de façon très marquée les fissures de réflexion sur une couche d'usure; la couche de correction conventionnelle de 22,5 kg/m^2 est supérieure à la scarification à la chaleur pour diminuer les fissures de réflexion; l'addition de "Reclamite" à la scarification à la chaleur améliore ce procédé pour la réflexion des fissures dans les premières années mais ne le rend pas aussi bon que la couche de correction; le fait d'augmenter l'épaisseur du mélange ouvert ne semble pas améliorer sensiblement le comportement de la couche d'usure aux fissures de réflexion lors des premières années, mais paraît plus efficace à long terme; il existe une très bonne corrélation entre le taux de pose d'un revêtement et le nombre de fissures réfléchies par kilomètre et elle apparaît indépendante du type de mélange.

ABSTRACT

Many experimental sections of roads have been constructed in Quebec in order to find a solution to the problem of reflection cracking in bituminous overlays. This study discusses the mecanism of rupture with a brief bibliography before synthetizing the results of the Quebec road test sections and drawing the conclusions from these trials. A more detailed analysis of road 161 experiments is given and a general discussion compares Quebec results with those obtained in U.S. with similar test sections.

With the results obtained up to date, it can be concluded: open graded mixtures significativeley reduce reflection cracking in bituminous overlays; a conventional correction course of 22 kg/m^2 is better than heater scarification to reduce reflection cracking; the addition of Reclamite to heater scarification has a good effect during the first years but it is not as good as the correction course; increasing the thickness of the open graded mixtures does not seem to improve the resistance to reflection cracking during the first years but is benefic for long term performance; there is a very good correlation between the rate of mixtures laid down and the number of reflective cracks per kilometer; also this correlation seems to be independent of the type of mixture.

1.0 INTRODUCTION

Depuis quelques années le Ministère des Transports du Québec est passé d'un budget majoritairement orienté vers la construction routière à un budget plus important pour l'entretien routier. Or, les problèmes de fissuration des revêtements bitumineux nécessitent une part importante de ce budget, et les fissures de réflexions sont celles qui causent le plus de dommages.

Les fissures de réflexion sont définies comme les fissures dans un revêtement de surface qui résultent des fissures ou des joints du revêtement sous-jacent.

Le présent rapport discute des résultats des sections expérimentales faites au Québec pour trouver un moyen économique et efficace afin d'empêcher ou diminuer ces fissures de réflexion. Pour ce faire, le mécanisme de rupture est d'abord discuté avec une revue bibliographique. Une deuxième partie résume les premières sections expérimentales exécutées sur la route 175. Ensuite les sections expérimentales de la route 161 sont analysées. Enfin une discussion générale est présentée en comparant les résultats du Québec avec ceux des sections expérimentales des Etats-Unis.

2.0 MÉCANISME DE RUPTURE

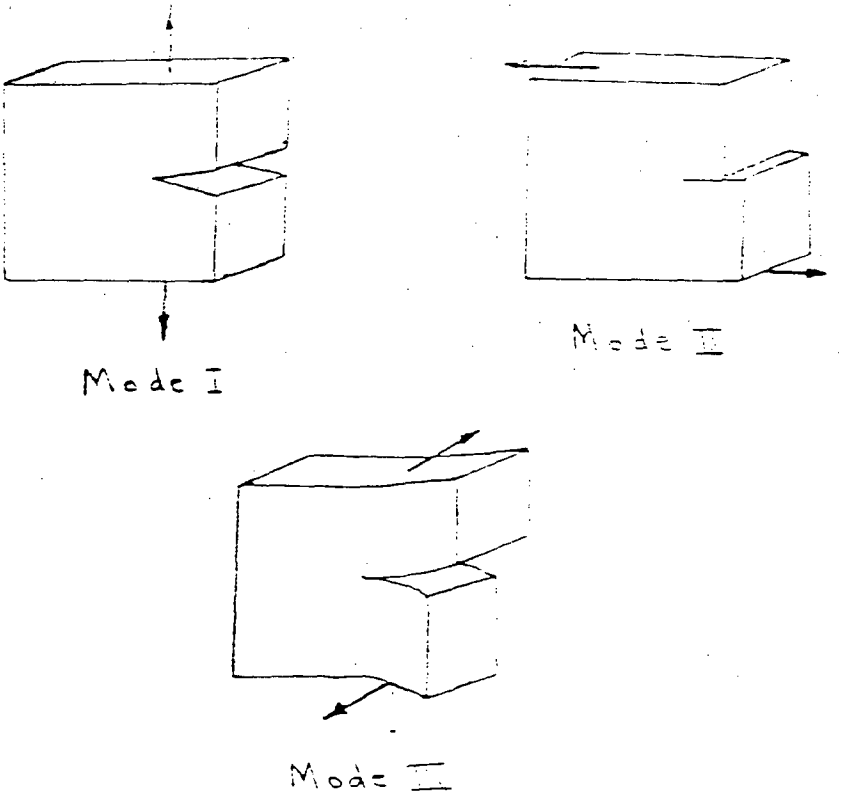
Les contraintes induites dans un matériau se concentrent près d'un défaut et amorcent la propagation d'une fissure. La mécanique de rupture considère que la propagation d'une fissure peut se faire selon trois modes (fig. 1). Le mode I est l'ouverture d'une fissure par tension et les surfaces de la fissure se déplacent perpendiculairement l'une à l'autre. Dans le mode II, c'est un cisaillement perpendiculaire au front de la fissure qui cause sa propagation et les surfaces de la fissure se déplacent dans le même plan et dans une direction perpendiculaire au front de la fissure. Le mode III est un déchirement causé par le cisaillement dans la direction parallèle au front de la fissure, et les surfaces de la fissure se déplacent dans le même plan et dans une direction parallèle au front de la fissure.

Dans l'entretien des chaussées, où très souvent un revêtement bitumineux neuf est posé sur un vieux revêtement fissuré, la fissure du vieux revêtement agit comme défaut qui concentre les contraintes dans le nouveau revêtement. L'abaissement de la température et les charges de camions induisent les contraintes et causent respectivement les modes de propagation I et II. Le mode III est à toute fin pratique inexistant dans les revêtements bitumineux.

Dans le cas des climats chauds, c'est surtout les charges des véhicules qui induisent les contraintes, et la réflexion des fissures dans le nouveau revêtement se fait donc principalement selon le mode II. Par contre, dans les climats assez froids, comme au Québec en hiver, la contraction

FIGURE I

MODE DE PROPAGATION DES FISSURES



des revêtements par l'abaissement de la température induit les contraintes les plus importantes et les fissures des vieux revêtements se réfléchissant dans les nouveaux revêtements surtout selon le mode I. Ce phénomène est démontré de façon convaincante au Québec et au Canada où les fissures de réflexion se produisent presqu'uniquement en hiver.

Plusieurs études (1,2,3,4,5,6), ont été réalisées aux Etats-Unis mais concernent surtout l'effet des charges et le mode II de propagation de fissures. Un autre groupe de chercheurs ont dirigé leurs études sur l'utilisation d'une couche de relâchement des contraintes pour minimiser la réflexion des fissures, soit avec câbles de renforcement (7,8), granulats non enrobés (9,10), membrane caoutchoutée (11,12,13), géotextiles(14,15). Quelques recherches ont été faites sur les modifications des mélanges bitumineux des

couches de recouvrement par l'ajout de caoutchouc recyclé (16) ou de fibres de renforcement (17). Cependant la grande majorité des études ont été faites pour prévenir la réflexion du joint de béton de ciment dans la couche de recouvrement en béton bitumineux (18,19,20,21,22,23,24,25).

En outre, deux études avec plusieurs sections expérimentales de routes totalisant 24 procédés différents ont été réalisées en Arizona (26) et au Colorado (27). A cause des conditions environnementales différentes du Québec, des tronçons expérimentals de route ont été réalisés afin d'expérimenter les procédés les plus prometteurs pour la diminution des fissures de réflexion. Ces tronçons ont été construits sur les routes 175 et 161.

3.0 SECTIONS EXPÉRIMENTALES DE LA ROUTE 175

Cette expérience a fait l'objet d'un rapport de M. Pierre Demontigny (28). Cet article décrit sommairement les conditions expérimentales et les résultats obtenus.

La route 175 traverse le Parc des Laurentides et relie Québec à Chicoutimi (fig. 2) depuis 1948 . Sur la majorité de son parcours, la route est à une élévation moyenne d'environ 750 mètres et est ainsi soumise à des conditions climatiques extrêmement dures causées par des hivers très longs et une profondeur de gel de 225 à 250 cm.

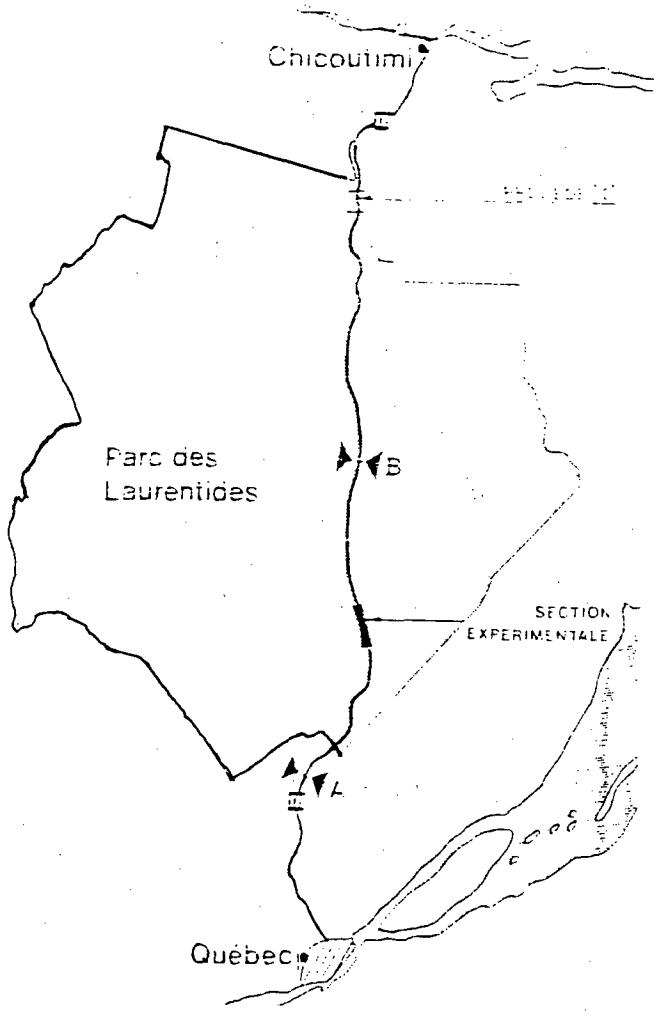
Le trafic, les rigueurs du climat et un usage intensif des sels déglaçants ont causé des fissures et bris divers et la route dut finalement être revêtue en 1959 et 1964. Peu d'années après, déjà les fissures réapparaissaient par réflexion et on devait songer à de nouveaux moyens de correction.

En 1973 une étude basée sur quelques relevés visuels et sur la banque de données de l'inventaire routier révéle une portance assez satisfaisante et des fissures transversales très nombreuses, espacées de 2 ou 3 mètres les unes des autres et fréquemment recoupées de fissures longitudinales. De plus, en maints endroits et notamment dans les pentes, des protubérances abruptes des lèvres des fissures, accompagnées ici et là de bris, rendaient la conduite assez peu confortable à haute vitesse. Toutefois les cahots de grande amplitude étaient très rares, mais le drainage était souvent déficient ce qui, notamment dans les secteurs en flanc de pentes, causait des soulèvements, plus ou moins accentués en hiver et divers bris du revêtement.

Le choix pour mener de telles expériences se porta sur un tronçon de 10,8 km de longueur traversant une région tantôt horizontale, tantôt faiblement ondulée et reposant sur un sol qui avait paru peu variable. Le revêtement était cependant là aussi très fissuré.

FIGURE 2

LOCALISATION DES SECTIONS
EXPÉRIMENTALES DE LA ROUTE 175



Le but des planches expérimentales était d'étudier l'influence respective des facteurs suivants vis-à-vis le phénomène de la remontée des fissures dans une nouvelle couche de roulement:

- l'épaisseur de la couche;
- la teneur en amiante du mélange;
- la présence à la base de la couche d'une membrane de renfort très forte en traction.

Le programme fut cependant quelque peu perturbé par des problèmes qui survinrent lors de la réalisation sur le chantier et qui découlaient d'un bitume qui avait malencontreusement été contaminé par d'autres hydrocarbures à la raffinerie au cours de diverses opérations. Ce dernier était beaucoup plus mou que le 150-200 de pénétration qui avait été prévu originairement. 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 là où le bitume contaminé avait été employé. Le tableau I décrit chacune des sections et leur comportement.

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

		1	2	3	4	5	6	7	8
Distance (km)		0.00 – 1.33	1.33 – 2.48	2.48 – 3.49	3.49 – 4.55	4.55 – 5.78	5.78 – 6.91	6.91 – 7.88	7.88 – 10.81
Recouvrement global	Couche suppl. (67 kg/m²)	■■■			■■■	■■■	■■■	■■■	
	Couche expérimentale - kg m²	118	118	109	117	111	88	105	80
	- Amiante %	—	1	—	2	1	—	2	—
	- Membrane			←→	←→				
	Couche de correction (kg/m²)	35	35	35	35	36	37	37	37
Nombre de fissures/km	mars 1972	0.22 ←301→	1.82			5.02 ←382→	6.62/6.78	←358→	8.38 … 10.51 313
	mars 1974	59	81	98	48	35	86	50	80
	février 1976	107 | 60	121	142	54	57	114 | 183	101	172
	septembre 1980	172 | 86	186	160	55	78	134 | 228		
Uni Mays (cm/km)	8 mars 1974	33	38	35	28	32	41	27	44
	16 octobre 1974	17	25	17	16	14	17	13	17
	31 janvier 1975	35	46	32	25	35	73	43	70
	12 février 1976	44 | 32	55	39	35	46	95 | 103	60	85
	25 mars 1980	45	52	55	40	52	— —	← Pavé en 1978	→

(Selon référence 28)

L'emploi d'un bitume mou, à moins d'être cause d'instabilité excessive par de l'orniérage ou des bourrelets (ce qui ne fut pas le cas) ne peut être que bénéfique surtout pour la résistance à la fissuration. Pourtant, toutes les planches expérimentales sans exception se fissurèrent dès le premier hiver, le nombre de fissures par kilomètre variant de 35, pour la planche No 5, à 98 pour la planche No 3.

Ces résultats empêchaient 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 membrane, il semblait même plus avantageux de faire usage d'un béton bitumineux conventionnel.

Devant ces faits, trois autres procédés (fig. 3) ont été essayés: le premier, dit procédé A, consistait à scarifier et enlever le revêtement existant, à scarifier ensuite la couche granulaire sur une épaisseur minimum de 15 cm pour l'homogénéiser et la débarasser de certaines pierres qu'elle pouvait contenir avant de la redensifier et de lui ajouter 15 cm de gravier concassé et 10 cm de béton bitumineux; le second, dit procédé B, consistait à recouvrir la chaussée existante de 20 cm de gravier concassé et de 10 cm de béton bitumineux; le troisième, dit procédé C, a été posé dans un secteur de 3,7 km de longueur (fig. 3), extrêmement fissuré mais exempt de soulèvements différentiels prononcés en hiver, et consistait en un recouvrement épais composé de 7,5 cm de mélange ouvert suivi de 5 cm de béton bitumineux conventionnel en surface.

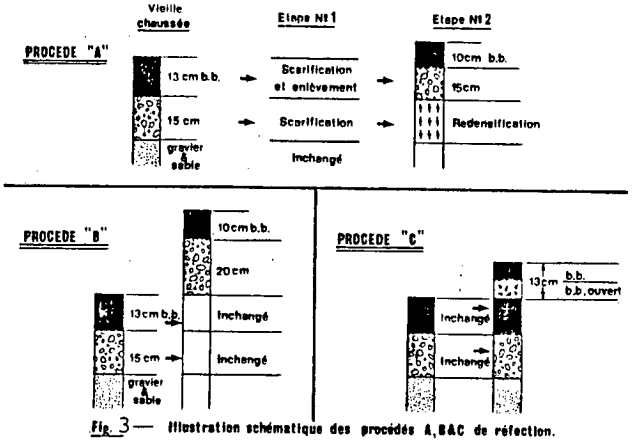


Fig. 3 — Illustration schématique des procédés A, B&C de réfection.

(Selon référence 20)

Le mélange ouvert devait rencontrer les exigences suivantes: 100% au tamis 50 mm, 75-90% au 37 mm, 50-70% au 19 mm, 8-20% au 4,75 mm et 0-5% au 150 mm.

L'emploi d'un tel mélange constituait une première au Québec et suscitait certaines craintes sur le chantier, notamment chez l'entrepreneur qui a eu tendance à utiliser une granulométrie se situant sur le côté fin des exigences. Le mélange a peut-être été un peu plus fermé que vraiment souhaitable pour prévenir la remontée des fissures avec un maximum d'efficacité.

Les résultats de performance de ces trois prodécés sont présentés dans le tableau 2 où l'uni et la fissuration sont comparés aux résultats de la planche 4, soit celle avec membrane et couche supplémentaire.

	Relevé effectué	Résultats obtenus selon procédé utilisé			
		A (1974)	B (1974)	C (1974)	Planche 4 (1973)
Fissuration (m/km)	Age de 3 ans	33	1	—	45
	Age de 4 ans	38	16	24	54
	Age de 5 ans	—	27	36	55
Uni Moyen (cm/km)	Etf 1971	18	15		18
	1er hiver	22	25		28
	A 1 an (été)	17	15	16	—
	3e hiver	35	34	27	35
	6e hiver	46	38	33	40
	Tronçons étudiés	5	5	1	1
	Long. globale (km)	13	19.8	3.75	1.0

(Selon référence 28)

L'analyse du comportement de toutes les sections expérimentales de la route 175 amène aux conclusions suivantes:

1) L'emploi d'amiante n'a pas, de façon appréciable, affecté ni le nombre de fissures réfléchies en surface ni la qualité du roulement au cours des hivers subséquents.

2) Le bitume mou a réduit la remontée des fissures en constituant alors un tampon entre le vieux revêtement fissuré et la nouvelle couche d'usure.

3) Une couche de gravier de 20 cm d'épaisseur au-dessus du vieux revêtement (procédé B) a, à toute fin utile, arrêté la remontée des fissures et a donné lieu à une chaussée se comportant de façon semblable à une chaussée neuve. Cependant les fissures transversales sont généralement du type multiple c'est-à-dire une zone fissurée ayant 12 à 18 cm de largeur et comportant deux ou trois fissures plus ou moins parallèles.

4) Le procédé 4 employé presqu'uniquement sur des tronçons en pente accentuée et en général sur des sols variables incluant une majeure partie de coupes de roc, semble inférieur, d'une façon générale, au procédé B et n'offre pas une garantie de succès comparable à ce dernier.

5) Le recouvrement épais en béton bitumineux (procédé C) a été très bon. Il a même résisté à la fissuration aussi bien que le procédé B. Il donne cependant lieu en hiver à certaines dénivellations aux fissures même si celles-ci ont été obturées environ trois ans après la pose du revêtement.

6) L'influence de la membrane de renfort employée dans les planches 3 et 4 a été assez marginale tant au point de vue dégradation de l'uni dans le temps qu'au point de vue remontée des fissures.

7) Le très bon comportement affiché encore après 7 ans par les planches 4 et 5, les fissures qui s'y trouvent actuellement sont environ 7 fois moins nombreuses qu'elles ne l'étaient avant la réfection de la route, semble indiquer qu'une couche riche en bitume mou intercallé entre le vieux revêtement et la couche d'usure serait une des solutions les plus avantageuses au problème de réflexion des fissures.

4.0 SECTIONS EXPÉRIMENTALES DE LA ROUTE 161

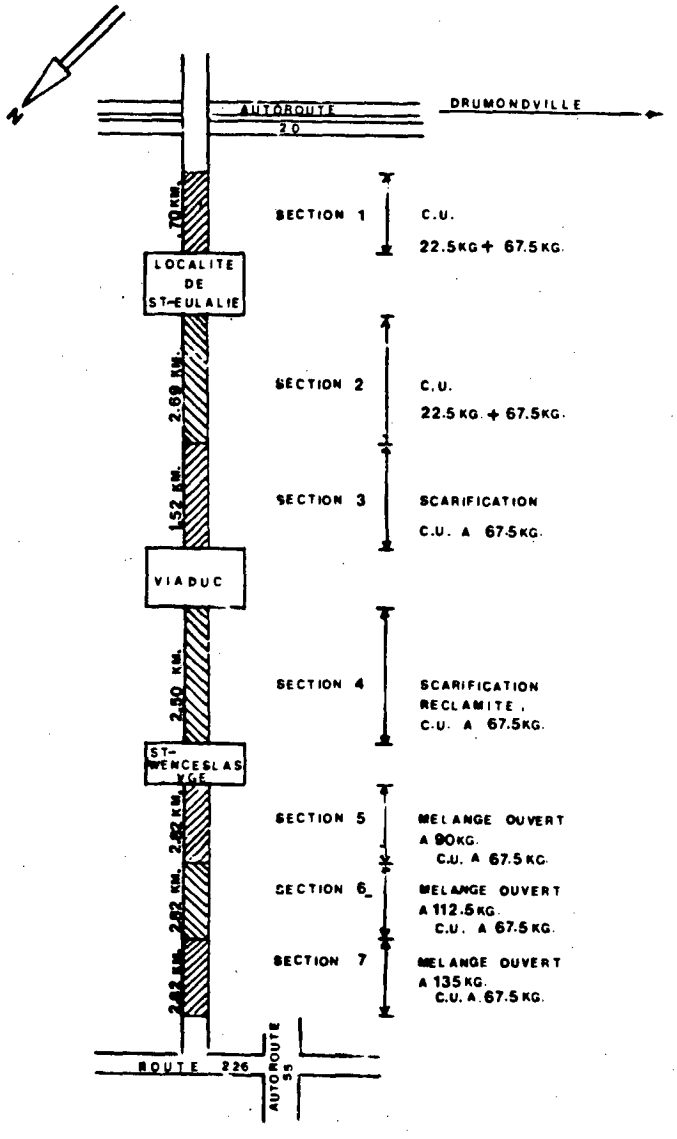
Ce projet qui couvre une distance de plus de 17,6 km de la route 161 et qui relie la route 226 à l'autoroute 20, a d'abord été divisé en sept (7) sections. Chacune de ces sections contient un procédé dont on retrouve les caractéristiques sur le schéma de localisation (fig. 4). L'inspection visuelle de chacune des sections avec le prélèvement des points de niveau et comptage des fissures pris à intervalle régulier tout au long de l'expérience a été utilisée pour évaluer le comportement et l'efficacité des procédés employés. De plus, les essais Mays et poutre Benkelman complètent cette évaluation.

Il est facile d'imaginer la grande variété de facteurs qui peuvent affecter le comportement et la durée de la route. Un mauvais comportement provient de la faiblesse du revêtement, des fondations ou de l'infrastructure. D'un autre côté, certaines causes naturelles ou indirectes détériorent les routes avec les années: le gel, le climat, non seulement par ses variations subites de conditions d'une saison à l'autre ou d'une année à l'autre, mais encore l'air et le soleil qui contribuent à l'oxydation et à la polymérisation du bitume rendant ainsi le revêtement bitumineux moins flexible.

Dans cette étude, c'est surtout l'effet du vieux revêtement sous-jacent sur la couche d'usure et la contribution du procédé intermédiaire pour diminuer la réflexion des fissures, qui sont analysés. L'infrastructure, les fondations et les conditions climatiques sont considérées identiques pour les besoins de cette analyse.

FIG-4- ROUTE 161 - RÉHABILITATION DE LA CHAUSSÉE

SCHÉMA DE LOCALISATION



Ce projet expérimental a débuté en 1976 et a été réalisé pour évaluer divers procédés visant à conserver une surface de roulement acceptable le plus longtemps et au plus bas coût possible en empêchant ou en diminuant les fissures de réflexion.

Lors de ce projet, un montant de 280,000$ est alloué pour la couche d'usure proprement dite et un budget supplémentaire d'environ 100,000$ est réservé pour la partie expérimentale. Le tableau 3 donne le coût au km de chacune des sections.

TABLEAU 3

COÛT DES TRAVAUX

Section no	1 et 2	3	4	5	6	7
* Coût/km	11,438$	16,120$	17,062$	19,751$	21,875$	24,000$

* Le coût du liant est également inclus.

Dans le tableau 4, figurent les caractéristiques du mélange de la couche d'usure et du mélange ouvert.

TABLEAU 4

CARACTÉRISTIQUES DES MÉLANGES BITUMINEUX

Caractéristique	Type de mélange			
	Couche d'usure		Mélange ouvert	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Granulométrie				
Tamis 25 mm			100	
19 "			96	2,8
12,5 "	100		54	5,6
9,5 "	93	1,7	32	5,2
4,75 "	60	2,9	7	2,5
2,36 "	44	2,4	4	2,8
1,18 "	35	1,9	3	1,9
600 µ	27	1,7	3	1,2
300 "	15	1,1	2	1,2
150 "	7	0,8	2	1,2
75 "	3,8	0,65	1,2	0,48
Total granulométrique	485	10,7	201	15,9
Densité brute	2,43	0,01	2,31	
Densité maximale	2,47	0,01	2,59	0,02
Compacité (%)	95,8	1,13	74,2	3,13
Epaisseur (mm)	32	4,9	52,5	12,1
% bitume	5,55	0,25	2,30	0,35
Stabilité (N)	9600	885		
Déformation (mm)	2,24	0,28		
% vide	1,8	0,64	25,8	3,13

La route 161 est exposée à un climat particulièrement rude à cause des hivers assez longs et froids. L'état du gel causant généralement de nombreux dommages, il devient donc intéressant de suivre attentivement le comportement de chacune des sections afin de déterminer si le soulèvement par le gel ne serait pas une des causes principales des bris.

Les relevés de niveau à tous les 60 m au centre de la route et des deux côtés pris par le district 33 en août 1976 et depuis deux (2) fois par année soit au printemps et à l'été permettent de déterminer le déplacement total de chacune des sections ainsi que le déplacement actuel par rapport au déplacement initial.

Le déplacement est déterminé par la somme de chacune des variations de tous les points de niveau prélevés depuis 1976 et ce, à chacun des chaînages. L'ensemble des valeurs obtenues pour chacune des sections permet ainsi de déterminer les déplacements d'une section par rapport à une autre qui ne varient guère d'une section à l'autre sauf pour les sections 1, 2 et 6 où ils sont légèrement inférieurs à la moyenne. Ces déplacements varient en moyenne de 0 à ± 5 cm mais peuvent atteindre jusqu'à ± 10 cm, en quelques endroits. Ainsi on a pu constater que le gel n'affecte pas une section plus qu'une autre.

L'état de la route avant l'expérience a été évalué par des relevés avant les travaux. Les essais de qualité de roulement Mays (Tableau 5) démontrent que la section 2 était en bon état alors que les sections 5,6 et 7 étaient les plus détériorées. On constate aussi que les sections 1,3 et 4 obtenaient à peu près le même coefficient de roulement. Le relevé de fissures transversales (tableau 5) montre une dégradation légèrement différente: ce sont les sections 7 et 4 qui ont le moins de fissures par kilomètre et les sections 2,5,3 et 1 suivent dans l'ordre. De plus, la pénétration du bitume du vieux revêtement bitumineux variait de 24 à 30, montrant ainsi une oxydation assez marquée.

TABLEAU 5

ÉTAT DE LA ROUTE 161 AVANT L'EXPÉRIENCE

Section No	1	2	3	4	5	6	7
Roulement Mays	33	21	28	30	47	42	44
Fissures transversales par km	213	152	174	139	163	182	138

L'évaluation de la route révéla lors du comptage des fissures après un premier hiver une apparition en nombre à peu près égal sur les trois sections de mélanges ouverts. Par contre, sur les autres sections on constata une forte réflexion des fissures apparaissant sous plusieurs formes: transversales, longitudinales, latérales et lézardes. Cependant, ce sont les fissures transversales qui constituent le plus grand nombre.

FISSURATION

L'évolution de la fissuration transversale est présentée pour chacune des sections dans les tableaux 6 et 7 par le nombre de fissures transversales total et par kilomètre de longueur et par le pourcentage de fissures réapparues.

TABLEAU 6

ÉVOLUTION DE LA FISSURATION TRANSVERSALE

ROUTE 161 DE 1976 A 1983

Date du relevé	* NB DE FISSURES TRANSVERSALES PAR SECTION/NB MOYEN PAR KILOMETRE						
	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7
77-03	44/63	195/72	200/132	199/80	46/16	49/17	38/13
78-11	47/67	205/76	280/184	345/138	79/28	54/19	49/17
79-03	100/143	293/109	302/199	412/165	118/42	87/31	60/21
80-03	101/144	313/116	363/239	486/194	110/39	110/39	89/32
82-04	146/209	353/131	358/236	632/253	461/163	351/124	262/93
83-05	192/274	432/161	356/234	638/255	501/178	391/139	267/95

* Fissures transversales incluent les transversales multiples et les lézardes.

TABLEAU 7

POURCENTAGE DE FISSURES TRANSVERSALES RÉFLÉCHIES

ROUTE 161 DE 1976 A 1983

Nb de fissures transversales avant réfection en 1976	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7
	149	409	265	347	460	513	388
Date du relevé	% de fissures transversales réfléchies dans le temps par rapport au nombre de fissures avant réfection						
77-03	30	48	75	57	10	9	10
78-11	32	50	106	99	17	11	13
79-03	67	72	114	119	26	17	15
80-03	68	77	137	140	24	21	23
82-04	98	86	135	182	100	68	68
83-05	129	106	134	184	109	76	69

On remarque d'abord que les sections avec un mélange ouvert en couche de base offrent une fissuration grandement diminuée pour les cinq premières années pour ensuite augmenter de façon inversement proportionnelle à l'épaisseur de cette couche. Donc plus il y a épais de mélange ouvert moins le nombre de fissures réfléchies est important.

La scarification à chaud avec ou sans Reclamite suivie d'une couche d'usure conventionnelle n'a pas donné de bons résultats, alors qu'une simple couche d'usure a fait part d'une performance passablement meilleure.

Les figures 5 et 6 illustrent bien les résultats et donnent une idée plus claire de l'évolution de la fissuration. Elles permettent de distinguer les procédés qui ont la meilleure performance quant aux fissures de réflexion. Les conclusions tirées lors de l'évaluation des quatre premières années par Gilles Lavigne (29) changent légèrement en considérant la performance après 7 ans. En effet, l'épaisseur de la couche de mélange ouvert semble prendre un peu plus d'importance. Cependant il ressort qu'une certaine limite s'impose quant à l'épaisseur requise de mélange ouvert puisqu'une quantité additionnelle ne donne pas de meilleurs résultats. Une correction préliminaire avant une couche d'usure conventionnelle contribue à retarder un peu plus la fissuration. La scarification à chaud ne semble toujours pas très utile pour remédier à ce problème de fissuration.

FIGURE 5

FISSURES TRANSVERSALES RÉFLÉCHIES
ROUTE 161 DE 1976 A 1983

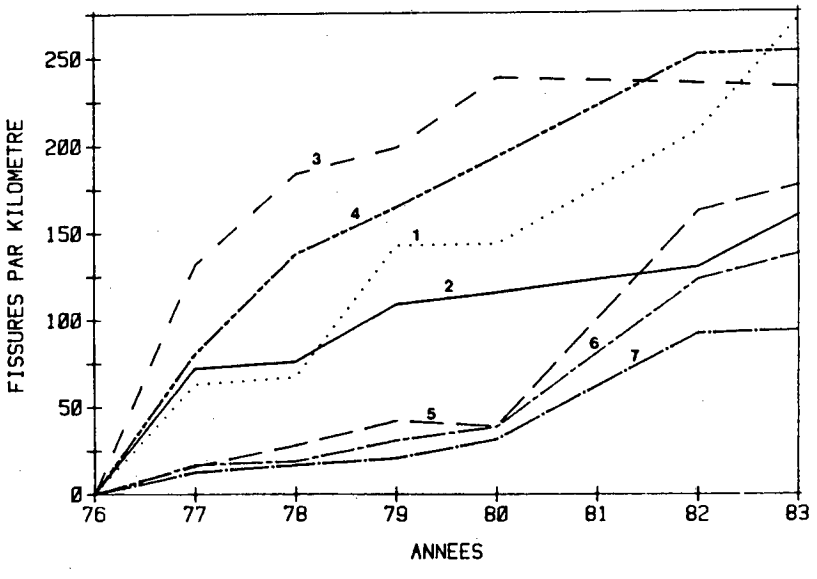
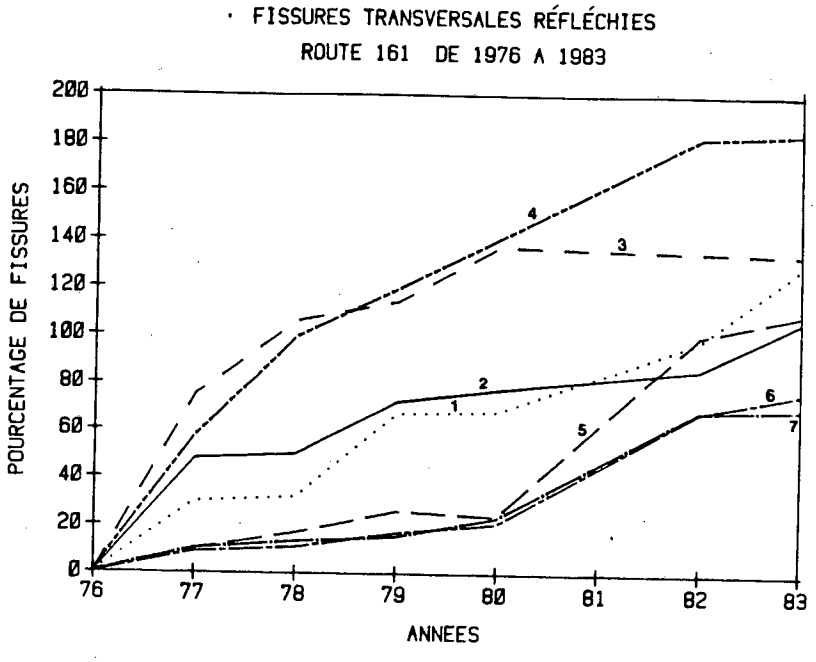


FIGURE 6



En effet, on peut voir par la figure 6 que 100% des fissures du vieux revêtement ont réfléchi dans la couche d'usure après deux ans seulement dans les sections 3 et 4 où une scarification à la chaleur avait été exécutée. Cela prend six ans dans les sections avec couche d'usure conventionnelle et couche de 90 kg/m^2 de mélange ouvert pour obtenir une réflexion des fissures à 100%. Quant aux sections avec couches de 112,5 km/m^2 et 135 kg/m^2 de mélange ouvert, le pourcentage de fissures réfléchies est presque semblable pour les deux et est inférieur à 80% après sept ans.

ORNIÈRAGE

Le tableau 8 fournit les résultats de mesures d'orniérage exécutées en 1983. Aucune mesure n'a été faite avant cette année et ainsi l'évolution de l'orniérage ne peut être évaluée, mais le comportement de chacune des sections après sept ans de trafic est discuté.

L'orniérage est pratiquement semblable, pour toutes les sections, quoique les sections 1,4 et 7 offrent des déformations un peu plus importantes. Pour la section 1, probablement un orniérage antérieur trop important avec un rechargement trop faible peut sans doute expliquer en partie ce fait. Quant à la section 4, la scarification à la chaleur n'a probablement pas tout corrigé l'orniérage antérieur et l'épandage de Réclamite suivi d'une couche d'usure ne semble pas suffisant pour corriger adéquatement. D'ailleurs des mesures faites dernièrement sur la route 138 à Donnacona démontrent clairement que la

scarification à la chaleur ne fait que corriger que 51% de la profondeur de l'ornière, soit 5,23 mm du 10,25 mm de profondeur avant traitement. Dans la section 7, l'épaisseur de la couche de base avec mélange ouvert semble un peu trop élevée. et ceci peut occasionner un orniérage prématuré et excédentaire.

TABLEAU 8

ORNIÉRAGE AU PRINTEMPS 83

ROUTE 161

Section	Ornière près de l'accotement (mm)*			Ornière près du (mm) *		
	20 cm G	Centre	20 cm D	20 cm G	Centre	20 cm D
1 μ	10,14	11,85	8,76	8,08	10,20	8,73
σ_n	4,18	5,39	4,71	1,89	1,64	1,49
		n = 19			n = 4	
2 μ	7,51	8,85	7,05	6,64	8,42	7,74
σ_n	1,87	2,37	2,09	0,96	1,03	1,03
		n = 19			n = 5	
3 μ	6,87	8,28	7,30	6,30	7,10	5,62
σ_n	5,16	7,62	6,62	1,00	0,52	0,91
		n = 18			n = 4	
4 μ	12,07	14,06	11,86	8,08	9,58	7,38
σ_n	6,94	8,22	7,16	1,89	2,08	1,35
		n = 16			n = 4	
5 μ	8,30	9,36	7,95	7,78	9,23	7,95
σ_n	2,12	2,36	2,25	1,01	0,86	1,03
		n = 16			n = 4	
6 μ	6,73	7,81	6,31	6,98	8,65	7,30
σ_n	2,87	2,92	2,98	0,80	0,96	1,66
		n = 16			n = 4	
7 μ	9,46	10,59	9,11	7,72	9,25	7,25
σ_n	3,87	4,00	3,60	1,98	2,18	1,77
		n = 16			n = 4	

* Orniérage moyen pour les deux directions.

CAPACITÉ PORTANTE

La capacité portante des diverses sections a été évaluée périodiquement par l'essai de rebondissement à la poutre Benkelman et les données sont présentées au tableau 9.

En général, tous ces modes de réfection n'ont pas augmenté de façon significative la force portante de la chaussée, mais ils n'avaient pas été choisis dans ce but, mais pour diminuer les contraintes transmises par le vieux revêtement à la couche d'usure. Il aurait toutefois été préférable que la portance initiale ait été plus élevée pour obtenir un meilleur comportement après réfection de chacune de ces sections.

TABLEAU 9

* REBONDISSEMENT "BENKELMAN"

$(\bar{X}_c + 2\sigma)$ 0,01 mm

Section	Juin 76 (avant réfection)	Novembre 76	Novembre 77	Juin 83
1	99	79	102	138
2	83	68	84	76
3	110	85	98	118
4	77	102	105	101
5	97	90	97	106
6	98	97	94	114
7	106	90	——	116

* Rebondissement moyen pour les deux directions.

Relevé par: La Division Structure de Chaussée
Service des Sols et Chaussée

Par ailleurs, il faut noter que l'influence de la température sur la force portante des mélanges ouverts n'est pas nécessairement la même que pour les mélanges denses et les corrections apportées aux mesures de rebondissements pour la température devraient être ajustées en conséquence. C'est peut-être cela qui fausse présentement l'évaluation de la force portante des sections.

QUALITÉ DE ROULEMENT

La qualité de roulement a été évaluée avec le roulemètre Mays. Le tableau 10 présente les données recueillies depuis 1976 sur les diverses sections.

TABLEAU 10

* QUALITE DE ROULEMENT "MAYS" EN cm/km

ROUTE 161

Section	Juin 76 (avant réfection)	Oct. 76	Nov. 76	Fév.77	AoQt 77	Juillet 80	Mai 83
1	33	10	19	23	18	21	23
2	21	8	8	13	6	11	11
3	28	8	9	22	9	19	24
4	30	9	10	21	10	18	18
5	47	6	6	15	5	15	16
6	42	6	6	12	7	12	13
7	44	7	7	15	8	14	16

* Moyenne de la qualité de roulement pour les deux directions à une vitesse de 65 km/h.

Relevé par: La Division Structure de Chaussées
Service des Sols et Chaussées

Chacun des modes de réfection retenus a certainement contribué à améliorer la qualité de roulement, mais le mélange ouvert a démontré les meilleures performances tel que le témoignent les résultats obtenus pour les sections 5,6 et 7.

5.0 DISCUSSION GÉNÉRALE

En Arizona (26) la scarification à la chaleur et l'addition de 0.5 litre/m^2 de Réclamite a permis la réflexion de seulement 7.4% des fissures sur la couche d'usure de 32 mm après 6 ans. Par ailleurs au Colorado (27) la scarification à la chaleur et l'addition de 0.7 litre/m^2 de Réclamite a donné 100% de fissures réfléchies dans la couche d'usure de 50 mm après 5 ans. Au Québec, le même procédé a donné 100% de fissures réfléchies dans la couche d'usure de 32 mm après deux ans seulement. Cela démontre que plus le climat est froid, moins la scarification à chaud est efficace pour prévenir la réflexion des fissures.

La membrane Petromat a eu une excellente performance au Colorado (27) avec seulement 2% de fissures réfléchies dans la couche d'usure de 64 mm après 5 ans. Au Québec (28) la membrane Petromat s'est comporté moins bien, car après 4 ans, 47% des fissures se sont réfléchies dans la couche d'usure de 50 mm. Là encore le climat plus rigoureux du Québec diminue l'efficacité des procédés pour réduire la réflexion des fissures.

La méthode standard, 50 mm de béton bitumineux, a 74% de fissures réfléchies après 5 ans en Arizona alors qu'au Québec c'est 100% sur la route 161 et 62% sur la route 175 après 6 ans. Dans ce cas, la rigueur du climat est compensée par un bitume plus mou et c'est pourquoi les résultats ne diffèrent pas beaucoup.

La méthode du sandwich de gravier, procédé B de la figure 3, utilisée au Québec donne des résultats équivalents à ceux de l'expérience de Trout Creek en Ontario (30) pour la réflexion des fissures transversales.

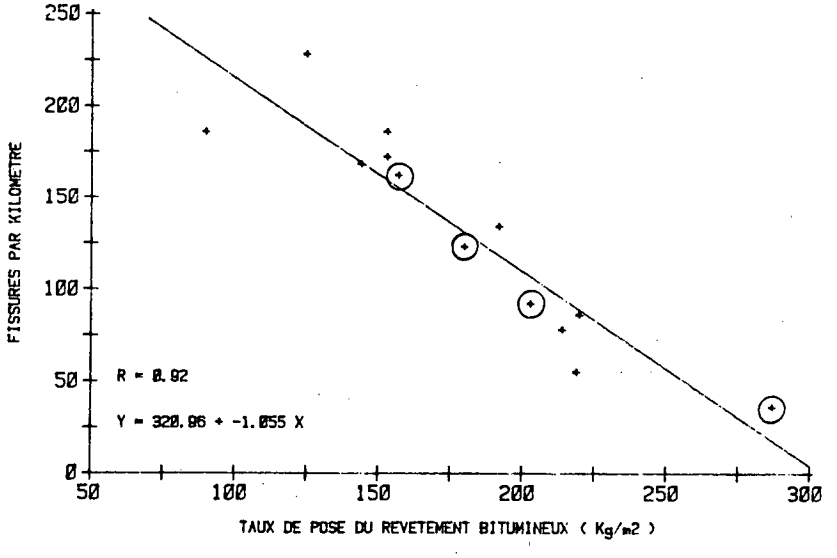
La couche de mélange ouvert pour diminuer la réflexion des fissures a été introduite par le Tennessee en 1950 et développée par l'Arkansas avec l'assistance de l'Asphalt Institute (31) elle est faite avec trois grosseurs maximales différentes de pierre, soit 76, 64 ou 50 mm. De plus elle doit être de 90 mm d'épaisseur et recouverte d'un mélange intermédiaire dense de 50 mm avant que ne soit posée la couche d'usure de 40 mm. Cette méthode a donné d'excellents résultats depuis 23 ans au Tennessee et 10 ans en Arkansas selon Hinsley (32). Au Québec, les mélanges ouverts sont plus fins: la grosseur nominale des granulats utilisés est de 37 mm sur la route 175 et 19 mm sur la route 161. En outre, la couche intermédiaire est éliminée ce qui permet une économie appréciable. Enfin, ils ont été posés sur des vieux revêtements bitumineux alors qu'aux Etats-Unis ils furent surtout posés sur béton de ciment. L'Ontario (30) n'a débuté ses premiers essais avec le mélange ouvert qu'en 1980 et leur mélange est légèrement plus fin et plus dense que celui du Québec: en effet, la grosseur maximale du granulat est de 16 mm, 5 à 15% de granulats peuvent passer le tamis 4,75 mm et 0 à 4% le 75 µm, et ils contiennent entre 2,5 et 3,5% de bitume.

L'efficacité des mélanges ouverts pour diminuer la réflexion des fissures est démontrée non seulement aux

Etats-Unis mais également par les sections expérimentales des routes 175 et 161 du Québec et par l'expérience récente de l'Ontario. Cependant comme les mélanges ouverts contribuent à un recouvrement plus épais des vieux revêtements il est bien important de voir si c'est à cause de leur granulométrie ouverte qu'ils sont efficaces ou simplement à cause du taux de pose supérieur. En prenant les résultats de fissuration de la route 175 et ceux de la route 161 et en les regroupant sur un graphique (fig. 7) en fonction du taux de pose de revêtement ajouté sur le vieux revêtement on trouve une excellente relation linéaire entre le nombre de fissures par kilomère après 7 ans et le taux de pose. En outre cette relation semble indépendante du type de mélange car les denses et les ouverts font partie de la même régression linéaire qui a un très bon coefficient de corrélation de 0.92, et une faible dispersion des points.

FIGURE : 7

RELATION ENTRE LE TAUX DE POSE DU REVETEMENT ET LE NOMBRE DE FISSURES TRANSVERSALES REFLECHIES



Devant ces faits il résulte que la seule raison qui motive l'utilisation de mélange ouvert c'est l'économie du bitume; car ses granulats sont souvent plus couteux, sa mise en oeuvre sans détour du trafic plus onéreuse à cause des déformations et de l'arrachement, sa résistance à l'orniérage plus faible, et son épaisseur plus grande entraîne des accotements plus dispendieux. Il serait donc primordial d'optimiser la granulométrie en fonction de l'économie de bitume et de la minimisation des inconvénients. Cela entraînerait sûrement une modification vers une granularité un peu plus dense, qui irait même vers celle d'un mélange de type MB-2 avec teneur en pierre maximale.

En 1983, des échantillons ont été prélevés sur la route 161 pour évaluer les propriétés du bitume et examiner l'évolution de la compacité. Le tableau II présente les résultats sur le bitume récupéré et original (entre parenthèses)

TABLEAU 11

PROPRIETES DES BITUMES ROUTE 161

Propriété du bitume	Couche d'usure		Mélange ouvert	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Viscosité cinématique à 135°C (cSt)	(238,1) 426,4	(8,1) 46,9	(378,1) 824,3	(11,3) 63,6
Viscosité absolue à 60°C (Pa/sec)	(54,2) 212,0	(3,9) 40,1	(145,7) 1194,3	(9,1) 148,5
Pénétration à 25°C	82,4 (170,6)	9,7 (4,5)	32,8 (90,8)	2,6 (2,9)

La compacité de la couche d'usure a augmenté de 3,2% en sept ans: elle est passée de 95,0 à 99,0%. Ce vide très faible dans le revêtement explique d'ailleurs le peu d'oxydation du bitume de cette couche malgré sept ans d'âge. L'évolution de la compacité du mélange ouvert ne peut être évaluée car aucune mesure n'a été faite lors de la construction. Cependant d'après sa compacité actuelle de 74,2%, il est possible d'affirmer qu'elle n'a pas dû augmenter beaucoup.

La fissuration d'un revêtement nouveau sur une base granulaire dépend fortement du type de bitume que contient le mélange et aussi du climat environnant, c'est-à-dire des basses températures auxquelles il est soumis. Des revêtements bitumineux posés en 1976, au Québec sur base granulaire ont donné le nombre de fissures transversales suivant par kilomètre: dans la région de Montréal 88,8, dans la région de Trois-Rivières ,dans la région de Québec 31,4, dans la région de Rimouski 59,4 , dans la région de Sherbrooke et dans la région de Chicoutimi 38,3 , soit une moyenne de Donc, un procédé qui ne permettrait que ce nombre de fissures réfléchies au bout de sept ans serait complètement efficace.

6.0 CONCLUSION

Même s'il est hazardeux de généraliser des conclusions pour des conditions autres que celles des expériences réalisées, les données présentes tirées de la bibliographie et des expériences du Québec permettent cependant de le faire avec assez d'assurance. Ainsi les conclusions suivantes peuvent donc être utilisées pour des conditions similaires ou qui diffèrent légèrement de celles des expériences mentionnées:

1. La scarification à la chaleur et l'addition de Réclamite est inefficace pour diminuer la réflexion des fissures dans les climats froids d'hiver tel que le Québec en a. De plus, elle ne fait que corriger partiellement l'orniérage du vieux revêtement.
2. Le mélange ouvert interposé entre le vieux revêtement et la couche d'usure est très efficace s'il est posé à un taux suffisant, soit au moins 112,5 kg/m^2.
3. Le taux de pose est plus important que la granularité du mélange pour diminuer la réflexion des fissures.
4. Le mélange le plus avantageux serait sans doute un MB-2 contenant le maximum de pierre. Il optimiserait l'économie, la mise en oeuvre et la performance à long terme.
5. La méthode du sandwich granulaire est très efficace contre la réflexion des fissures mais rehausse fortement le profil de la route et cause des problèmes lors de la mise en oeuvre sans détour de trafic.
6. Une très bonne corrélation entre le taux de pose d'un revêtement et le nombre de fissures réfléchies par kilomètre a été établie et peut servir de guide dans le choix de l'épaisseur et du type de revêtement.
7. La méthode conventionnelle de mince couche de correction et d'usure est sans doute la meilleure solution sur des routes où les dommages ne sont pas trop importants et la qualité de roulement pas trop dégradée. Cette technique serait encore plus efficace si elle est doublée d'une obturation des fissures qui réapparaissent.

En résumé, il n'existe pas de solution miracle au problème de réflexion des fissures, mais une optimisation du procédé à choisir en fonction du coût de la mise en oeuvre et de la performance à long terme doit être faite dans chacun des cas. Des recherches doivent continuer pour mieux comprendre le mécanisme de la réflexion des fissures dans les climats froids et aussi mieux optimiser le choix d'un procédé d'entretien.

REFERENCES

1. Luther, M.S., K. Majidzadeh and C.W. Chang: "Mechanistic Investigation of Reflection Cracking of Asphalt Overlays". Transportation Research Board, Research Record No 572, Washington, D.C. 1976.

2. Ramsamooj, D.V.: "Prediction of Reflection Cracking in Pavement Overlays", Highway Research Board, Research Record 434, Washington, D.C. 1973.

3. Majidzadeh, K. and D.V. Ramsamooj: "Mechanistic Approach to the Solution of Cracking in Pavements", HRB Special Report, 140, 1973.

4. Germann, F.P. and R.L. Lytton: "Methodology for Predicting the Reflection Cracking Life of Asphalt Concrete Overlays", Texas Transportation Institute. Research Rept. No 207-5, 1979.

5. Monismith, C.L. and N.F. Coetzee: "Reflection Cracking: Analyses, Laboratory Studies and Design Considerations". Proc. AAPT, volume 49, 1980.

6. VonQuintus, H.L., H.J. Treybig and B.F. McCullough: "Reflection Cracking Analysis For Asphaltic Concrete Overlays". Proc. AAPT Volume 48 1979.

7. Tons. E. and E.M. Krokosky: "A Study of Welded Wire Fabric Strip Reinforcement in Bituminous Concrete Resurfacings". Proc. AAPT, Volume 29, 1960.

8. Smith, L.L. and W. Gartner, J.R.: "Welded Wire Fabric Reinforcement for Asphaltic Concrete". HRB Bulletin 322, 1962.

9. Kher, R.: "Road Test to Determine Implications of Preventing Thermal Reflection Cracking in Asphalt Overlays". Transportation Research Board, Research Record No 632, 1977.

10. Copple, F. and L.T. Oehler: "Michigan Investigation of Soil-Aggregate Cushions and Reinforced Asphaltic Concrete for Preventing or Reducing Reflection Cracking of Resurfaced Pavements". HRB Research Record No 239, 1968.

11. Morris, G.R. and G.H. McDonald: "Asphalt-Rubber Stress Absorbing Membranes: Field Performance and State-of-the-Art", Transportation Research Board, Research Record No 595, 1976.

12. Vallerga, B.A., G.R. Morris, J.E. Huffman and B.J. Huff: "Applicability of Asphalt-Rubber Membraines in Reducing Reflection Cracking", Proc. AAPT 1980.

13. Coetzee, N.F. and C.L. Monismith: "Analytical Study of Minimization of Reflection Cracking in Asphalt Concrete Overlays by Use of a Rubber-Asphalt Interlayer", Transportation Research Board, Research Record 700, Washington, D.C. 1979.

14. Dykes, J.W., "The use of Fabric Interlayers to Retard Reflective Cracking", Proc. AAPT, 1980, Volume 49.

15. Mullen, W.G. and R.J. Hader, "Effectiveness of Fabric and Non-Fabric Treatments in Controlling Reflective Cracking", Proc. AAPT 1980, Volume 49

16. LaGrone, B.D. and B.J. Huff: "Utilization of Waste Rubber to Improve Highway Performance and Durability", presented at 52nd Annual Meeting, Highway Research Board, January 1973.

17. Busching, H.W. and Antrim: "Fiber Reinforcement of Bituminous Mixture". Proc. AAPT, Volume 37, 1968.

18. Treybig, H.J., B.F. McCullougn, P. Smith and H. VonQuintus: "Overlay Design and Rehabilitation Cracking Analysis for Rigid Pavements", U.S. Federal Highway Administration, Dept, FHWA-RD-77-66, 1977.

19. Coetzee, N.F.: "Some Considerations on Reflection Cracking for Asphalt Concrete Overlay Pavements", Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley, 1979.

20. Vicelja, J.L.: "Methods to Eliminate Reflection Cracking in Asphalt Concrete Resurfacing Over Portland Cement Concrete Pavements", Proc. AAPT, Volume 32, 1963.

21. F.R. McCullough "Reflection Cracking of Bituminous Overlays on Rigid Pavements, "Special Report 16, Engineering Research and Development Bureau New York State Department of Transportation (February 1973).

22. K.H. MCGhee, "Efforts to Reduce Reflective Cracking of Bituminous Concrete Overlays of Portland Cement Concrete Pavements." Virginia Highway and Transportation Research Council. VHTRC 76-R20 (November 1975).

23. A.J. Bone, L.W. Crump and V.J. Roggeveen "Control of Reflection Cracking in Bituminous Resurfacing Over Old Cement-Concrete Pavements." Proceedings, Highway Research Board Vol 33 (1954).

24. S.L. Roberts "Cracks in Asphalt Resurfacing Affected by Cracks in Rigid Bases" HRB Proc. 33:341-344 (1954).

25. J.O. Wilson "Crack Control Joints in Bituminous Overlays on Rigid Pavements" HRB Bull. 322 (1962).

26. Way, G.B. "Prevention of Reflective Cracking in Arizona." Proc. AAPT, Volume 49, 1980.

27. Donnelly, D.E.; McCabe, P.V.; Swanson, H.N.: "Reflection Cracking in Bituminous Overlays" Report No CDOH-P & R-76-6 prepared for Federal Highway Administration Research and Development.

28. Demontigny, P.; "Route Québec-Chicoutimi Bilan des Techniques de Réfection." Proc. CTAA, Volume XXV, 1980.

29. Lavigne, G; "Projet Experimental Route 161 Réhabilitation de Chaussées." Rapport intérimaire interne Ministère des Transports du Québec, mars 1980.

30. MacMaster, J.B. et Blum W.E.; "Preventing Reflection Cracking" Proc. Paving in Cold Areas Mini Workshop Canada/Japon Vancouver 1982.

31. Asphalt Institute Construction Leaflet No 16 (CL-16) "Preventing Reflection Cracks with an Asphalt Crack-Relief Layer" Dec. 1975.

32. Hansley, M.J.; "Open-Graded Asphalt Concrete Base for the Control of Reflective Cracking" Proc. AAPT, volume 49, 1980.

MINISTERE DES TRANSPORTS
QTR A 095 238