

CANQ  
TR  
GE  
SM  
223

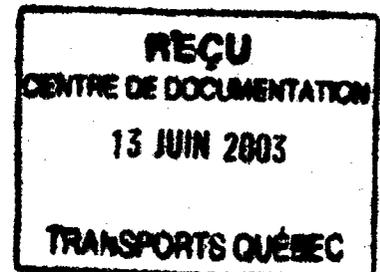


739985

COMPORTEMENT D'ENROBÉS BITUMINEUX AVEC OU SANS  
MODIFICATION DU LIANT PAR UN ÉLASTOMÈRE:  
ÉTUDE COMPARATIVE

JEAN-CLAUDE MOREUX, chim., Ph.D.  
RESPONSABLE SECTION LIANTS BITUMINEUX  
LABORATOIRE CENTRAL  
2700, RUE EINSTEIN  
SAINTE-FOY, QC  
G1P 3W8

RICHARD LANGLOIS, ing, M.Sc.  
CHEF-DIVISION GRANULATS ET REVÊTEMENTS BITUMINEUX  
LABORATOIRE CENTRAL  
2700, RUE EINSTEIN  
SAINTE-FOY, QC  
G1P 3W8



CANQ  
TR  
GE  
SM  
223

Ministère des Transports  
Centre de documentation  
930, Chemin Ste-Foy  
6e étage  
Québec (Québec)  
G1S 4X6

## RÉSUMÉ

Au cours de l'été 1987, le Ministère des Transports du Québec, a effectué la pose d'une planche d'essai sur l'autoroute de la rive nord du Saint-Laurent entre Montréal et Québec. Cette planche comporte 5 sections: 4 sont constituées d'un revêtement dont les liants sont des bitumes polymère et une section est constituée par un revêtement conventionnel (section témoin).

À partir du mélange compacté en usine, directement à la sortie du poste de malaxage, et de carottes prélevées sur la chaussée de l'autoroute à l'automne de l'année suivante, on a entrepris l'étude en laboratoire de ces échantillons.

Les échantillons de laboratoire diffèrent des échantillons de l'autoroute essentiellement par le mode de compactage. Ainsi, le liant contribue de façon prépondérante au comportement observé lors de l'exécution des essais.

Les susceptibilités à l'orniérage et la fissuration ont été évaluées par les essais de stabilité Marshall, de stabilité Hveem, par l'essai de tension par traction indirecte et par la viscosité apparente. La qualité des liants résiduels a été évaluée quant leur susceptibilité thermique, et leur module de rigidité à basse température et à 60°C par la méthode indirecte de McLeod(6).

Il ressort de cette étude que la présence de bitume polymères dans les enrobés a tendance à améliorer leurs qualités potentielles.

## 1.0 INTRODUCTION (a)

Le bitume est un composé thermoplastique qui est très sensible à la température. Il présente aussi l'inconvénient de devenir mou et déformable à la chaleur, alors qu'il est dur et cassant au froid.

Dans un enrobé bitumineux, à basse température, le bitume aura tendance à se rompre sous l'action des charges de la circulation, et à provoquer des problèmes de fissuration au niveau du revêtement. Cette détérioration s'aggravera par la surimposition du phénomène de retrait thermique. A une température chaude, l'action des charges de la circulation aura tendance à produire dans le revêtement des déformations permanentes par fluage: c'est le phénomène d'orniérage. Entre ces deux extrêmes, le comportement du bitume convient bien aux usages auxquels ont le destine en technologie routière.

La modification d'un liant par un additif doit normalement se traduire par une amélioration des propriétés de ce produit et de ses performances. La formulation d'un additif parfait est difficilement réalisable. En effet, un additif qui aurait pour effet de minimiser l'orniérage, par exemple, en augmentant la stabilité du revêtement, risque d'augmenter les possibilités de fissuration par une diminution de la flexibilité de la chaussée.

Les bitumes modifiés par ces élastomères résultent de la combinaison des deux constituants par simple mélange physique sous forme de dispersion, ou bien par polymérisation avec greffage chimique. La notion de compatibilité est importante, car tous les bitumes ne peuvent pas servir de base à tous les additifs. Un bitume-polymère est, en fait, un mélange biphasique composé par une phase polymère gonflée par certaines huiles du bitume et une phase bitume contenant les autres constituants n'intervenant pas dans le gonflement. La compatibilité dépend de la structure physico-chimique de l'élastomère, de la composition chimique du bitume, et des conditions de préparation du bitume-polymère. Dans les cas de non compatibilité, on observera une séparation par décantation partielle du polymère (1) (2) (3) (4).

Le Ministère des Transports, à la fin de l'été 1987, a mis en place sur l'autoroute de la rive nord (autoroute 40) une planche d'essai dont le revêtement a été divisé en plusieurs sections. Chaque section contenait un bitume modifié par un élastomère.

---

(a) Le sujet de cet article a déjà fait l'objet d'une présentation détaillée par les mêmes auteurs au Congrès annuel de la CTAA, le 20 novembre 1989 à Halifax (Nouvelle-Écosse)

## 2.0 Les conditions d'étude

Les enrobés posés sur la planche d'essai ne diffèrent que par la nature du liant, et les différences observées dans le comportement des mélanges pourront donc être attribuées essentiellement au liant.

## 2.1 Composition de la planche d'essai

Le revêtement de la planche d'essai a été divisé en cinq sections dont la longueur est de 1 km environ. Il y a une section témoin ou aucun polymère n'a été ajouté au bitume et quatre sections dont les agents modifiants sont: un copolymère de styrène-butadiène greffé chimiquement (Styrelf), deux sections avec un latex (Polysar et Ultrapave) et un copolymère de styrène-butadiène en dispersion dans le bitume (Kraton).

Chaque enrobé possède une granulométrie dont les pourcentages de granulats passant chaque tamis s'insèrent dans le fuseau de spécifications d'un enrobé de surface de type MB4, au sens du cahier des charges du Gouvernement du Québec. Les granulats sont constitués principalement de calcaire dur et, en moindre quantité, de calcaire schisteux; quant au sable il est granitique.

Les liants modifiés ou non qui ont servi à la fabrication des enrobés appartiennent à la classe de pénétration 85-100. La teneur en bitume est comprise entre 5 et 6 % par rapport à la masse de l'enrobé.

## 2.2 Eprouvettes d'essai

Les éprouvettes utilisées au cours de cette étude sont fabriquées à la centrale d'enrobage. Le matériel est prélevé à la sortie du malaxeur et compacté selon la méthode Marshall (NQ 2300-020) en échantillons cylindriques.

La fabrication des éprouvettes en usine a été dictée pour deux raisons (5): obtenir des échantillons de mélanges identiques à ceux qui seront posés en chantier et éviter les modifications de leurs propriétés pouvant survenir après réchauffage en laboratoire.

Un certain nombre d'essais ont aussi été réalisés sur des carottes prélevées dans chacune des sections du revêtement de la planche d'essai. Le carottage sur la chaussée de l'autoroute a eu lieu au cours de l'automne 1988.

### 3.0 Méthodes expérimentales:

Les essais ont été choisis de façon à permettre la formulation de prévisions concernant: la susceptibilité à l'orniérage, la susceptibilité à la fissuration et la durabilité du revêtement. Les techniques utilisées dans ce travail sont brièvement décrites dans la suite de cet exposé.

#### 3.1 Susceptibilité à l'orniérage

3.1.1 L'essai Hveem (ASTM D1560) permet de prévoir l'importance relative d'une déformation permanente par déplacement latéral des granulats d'un revêtement. Dans les éprouvettes utilisées, le liant a la principale responsabilité de ce déplacement. Donc, des stabilités élevées rendront les mélanges concernés moins orniérables.

3.1.2 L'essai de viscosité apparente des mélanges est un essai en cours de développement au laboratoire. L'éprouvette est placée verticalement entre les mâchoires d'un appareil de traction indirecte. L'appareillage est immergé dans un bain d'eau thermostaté à 40°C, et on attend l'équilibre de température. On applique alors une charge statique verticale, constituée par un poids dont la masse est choisie de façon à obtenir une déformation suffisante pendant une période de temps raisonnable. La déformation latérale de l'échantillon est mesurée de façon continue par des capteurs de déplacement, et les informations recueillies sont envoyées sur un appareil d'acquisition de données: celles-ci sont ensuite traitées par ordinateur.

De cette façon, on obtient l'équation de la courbe de la vitesse de déformation, à l'aide de laquelle on calcule la viscosité apparente de l'enrobé. La viscosité est une mesure de la résistance du mélange à sa déformation. Une valeur élevée de la viscosité d'un mélange le rend moins déformable par l'orniérage.

3.1.3 Le rapport de la contrainte sur la déformation de l'échantillon donne le module d'élasticité E. Ces valeurs sont obtenues en utilisant les résultats de "l'essai

Marshall" (NQ 2300-060). Le module d'élasticité, obtenu à 60°C est une caractéristique du matériel à cette température, et c'est une mesure de sa rigidité; un mélange bitumineux ayant un module d'élasticité élevé sera moins susceptible à l'orniérage.

3.1.4 La détermination indirecte du module de rigidité du bitume récupéré des éprouvettes est décrite par N.W. McLeod (6). À température élevée, il est évident que les mélanges, dans lesquels les modules de rigidité des bitumes seront les plus élevés présenteront une résistance plus grande à l'orniérage. La température choisie est 60°C et le temps de charge est celui d'un véhicule "poids lourd" roulant à 100 km/h. En se fondant sur ces conditions extrêmes d'orniérage, il sera possible de classer les bitumes, et par voie de conséquence les mélanges, selon leur susceptibilité à l'orniérage.

3.1.5 Dans le squelette minéral d'un enrobé il existe un volume intergranulaire dont un pourcentage donné est comblé par le bitume (VCB). Ce bitume assure principalement la cohésion du béton. Cependant, une valeur élevée du VCB rend le revêtement mou; par temps chauds, le bitume n'ayant pas l'espace suffisant à sa dilatation saignera en surface rendant les conditions de route dangereuses; enfin, le liant, jouant un rôle de lubrifiant, facilitera les déplacements latéraux des granulats sous l'action des charges de la circulation, provoquant ainsi l'orniérage. Au Québec, le VCB maximum, pour une route à grande circulation ne doit pas dépasser 75% (NQ 2300-900).

3.1.6 La profondeur réelle des ornières a été mesurée sur le terrain dans le courant de l'automne 1989, deux hivers après la pose de revêtement. Les mesures ont été faites à l'aide d'un transversoprofilographe construit au laboratoire.

### 3.2 Susceptibilité à la fissuration

La fissuration à basse température peut se produire non seulement par retrait thermique du liant, mais aussi par la rupture du liant sous l'action de charges trop importantes. On suppose que l'infrastructure de la chaussée ne présente aucune faiblesse.

3.2.1 L'essai brésilien par traction indirecte (ASTM C496) mesure la force de tension nécessaire à la rupture de l'échantillon. À vitesse de chargement élevée de la presse, une force de tension élevée permet de prédire un meilleur comportement de la chaussée à la sollicitation des charges créées par la circulation (7).

- 3.2.2 Le module de rigidité à basse température est obtenu de la même façon que celle utilisée plus haut (6). A basse température, il est évident que les enrobés, dans lesquels les modules de rigidité du liant seront peu élevés, présenteront une meilleure résistance à la fissuration. La température choisie est  $-29^{\circ}\text{C}$  et le temps d'application 20000s.

Sur la chaussée ce temps correspond à la contrainte exercée par un refroidissement lent sur le revêtement, lors d'une très froide journée d'hiver.

### 3.3 Prévision de la durabilité des mélanges.

- 3.3.1 Plus la température du point de ramollissement du bitume (ASTM D36) est élevée, meilleur sera le comportement du mélange vis-à-vis des phénomènes de fluage se présentant aux températures ordinaires ( $30-50^{\circ}\text{C}$ ). Plus la température du point de fragilité de Fraass (IP80) sera basse, meilleure sera la résistance du mélange à la fissuration. La détermination de la différence de température entre le point de ramollissement et le point de fragilité de Fraass permet de fixer les limites de la plage de température à l'intérieur de laquelle le bitume reste plastique (intervalle de plasticité).

Aux extrémités de cet intervalle, le bitume commence, soit à devenir fluide, soit à devenir dur et cassant. Il est évident que, plus grand sera cet intervalle de température, meilleur sera le bitume aux températures normales d'utilisation et, par voie de conséquence, l'enrobé dans lequel il sera utilisé: une plage de plasticité étendue contribue donc à assurer une meilleure durabilité du mélange.

Les intervalles de plasticité ont été obtenus après récupération du bitume des éprouvettes de laboratoire. Il s'agit donc d'un bitume préalablement vieilli après malaxage de l'enrobé en usine.

- 3.3.2 Une deuxième catégorie d'essais réalisés dans ce domaine sont des mesures de consistance des bitumes: mesures de viscosité en fonction de la température à l'aide du rhéomètre de Schweyer(8). Les courbes sont linéaires si on porte le logarithme de la viscosité en fonction de la température. La pente de ces courbes donne une mesure relative de la susceptibilité thermique: une pente dont la valeur est faible correspond à un produit dont la susceptibilité thermique est peu élevée, une pente dont la valeur est grande correspond à une plus grande susceptibilité thermique.

3.3.3 La valeur du PVN (6) est aussi un bon indice de la susceptibilité thermique des bitumes. Ce paramètre a été évaluée pour les liants des mélanges étudiés. Cette valeur a été obtenue pour les éprouvettes de laboratoire et pour les carottes de l'autoroute.

3.3.4 On placera encore dans cette catégorie d'essais celui de la résistance des enrobés à l'action de l'eau. L'essai utilisé dans cette étude est sévère: c'est une variante de l'essai de trempage de Lottman (9).

L'éprouvette est saturée en eau à 60°C après passage sous vide, puis immergée durant 24 heures dans un bain thermostaté à 60°C.

Pour un essai donné, on compare les résultats obtenus par deux groupes d'éprouvettes semblables, l'un d'eux ayant été soumis à l'essai de trempage. Les résultats du groupe d'éprouvettes ayant été soumis à l'essai de trempage sont inférieurs à ceux du groupe intact. On peut donc en déduire un pourcentage de perte qui sera d'autant plus grand que l'essai est dommageable aux échantillons.

#### 4.0 Résultats

Les tableaux 1,2 et 3, présentés ci-dessous, résument l'ensemble des résultats obtenus à l'aide des méthodes décrites précédemment. Les valeurs attribuées à chacun de ces résultats sont comparatives et permettent une classification des mélanges suivant leurs performances.

Chaque résultat reçoit une cote comprise entre 1 et 5. La cote 1 est attribuée au mélange qui a donné les meilleures performances pour un essai donné. La cote la plus élevée caractérise le mélange qui a donné les performances les plus médiocres. Les résultats obtenus qui proviennent des échantillons de laboratoire sont compactés avec 60 coups de marteau par la méthode Marshall; ils sont la moyenne des résultats de 3 échantillons semblables. Les bitumes récupérés des échantillons proviennent toujours d'éprouvettes semblables.

TABLEAU 1  
CLASSIFICATION DES MÉLANGES POUR LA RÉSISTANCE À L'ORNIÉRAGE

	HVEEM	VISCOSITÉ APPARENTE	MODULE E	VBC <sup>(1)</sup>	MODULE DE RIGIDITÉ <sup>(2)</sup>		PROFONDEUR ORNIÉRAGE <sup>(3)</sup>
	(L)	(L)	(L)	(L)	(L)	(A)	(A)
TÉMOIN	4	4	5	5	2	4	4
STYRELF	3	5	2	1	3	2	3
POLYSAR	2	2	4	4	1	1	2
ULTRAPANE	4	3	3	2	4	2	5
KRATON	1	1	1	3	5	4	1

NOTES: L= Essais sur éprouvettes de laboratoire; A= Essais sur carottes de l'autoroute.

(1) VCB= Pourcentage de vide comblé par le bitume.

(2) Le module de rigidité est celui du liant modifié récupéré d'éprouvettes de laboratoire ou de carottes d'autoroute.

(3) Mesure sur l'autoroute par le transversoprofilographe (Automne 1989).

TABLEAU 2  
CLASSIFICATION DES MÉLANGES POUR LA FISSURATION

	TRACTION INDIRECTE		MODULE RIGIDITÉ <sup>(1)</sup> (-29°C, 20 000s)	
	(L)	(A)	(L)	(A)
TÉMOIN	3	3	5	5
STYRELF	1	1	1	1
POLYSAR	4	2	4	4
ULTRAPAVE	2	4	3	3
KRATON	5	5	2	2

NOTES: L= Essais sur éprouvettes de laboratoire; A= Essais sur carottes de l'autoroute.  
(1) Le module de rigidité est celui du liant récupéré d'éprouvettes de laboratoire, et de carottes de l'autoroute.

TABLEAU 3  
CLASSIFICATION DES MÉLANGES POUR LA DURABILITÉ

	PERTE APRÈS TREMPAGE			SUSCEPTIBILITÉ THERMIQUE			
	MODULE E (L)	TENSION INDIRECTE (L)	HVEEM (L)	I.P. <sup>(1)</sup> (L)	d(logV)/dT <sup>(2)</sup> (L)	PVN (L) (A)	
TÉMOIN	3	4	1	4	5	5	5
STYRELF	1	5	3	3	4	4	4
POLYSAR	5	1	2	4	3	3	3
ULTRAPAVE	4	3	4	2	1	2	2
KRATON	1	2	5	1	2	1	1

NOTES: L= Essais sur éprouvettes de laboratoire; A= Essais sur carottes de l'autoroute.  
 (1) Intervalle de plasticité du bitume modifié récupéré d'éprouvette de laboratoire.  
 L'intervalle le plus grand à la cote 1.  
 (2) Pente de la courbe log(viscosité)= f (température) entre 25 et -15°C.

## 5.0 Discussion des résultats

Les conclusions qu'on pourra tirer de cette étude ne concernent que les échantillons provenant de la planche d'essai et ne peuvent en aucun cas avoir une portée générale.

### 5.1 Résistance à l'orniérage (tableau 1)

Dans ce tableau on présente quatre essais caractérisant chacun des enrobés, une caractéristique du bitume provenant de ces enrobés, et un résultat de chantier qui sera pris comme référence.

Les classifications concernant les essais sur les enrobés peuvent être analysés de la façon suivante:

#### 5.1.1 Mélange témoin:

Le mélange témoin affiche les plus basses performances et occupe la dernière position dans trois cas sur quatre, et l'avant dernière dans le cas de l'essai de viscosité. Cette position se trouve confirmée par l'essai en chantier.

#### 5.1.2 Mélange Kraton:

Le mélange Kraton occupe la première position dans trois cas sur quatre. Après compaction la valeur du VCB dépasse les spécifications du BNQ (80%). Cette classification du mélange Kraton par rapport aux autres mélanges montre qu'il résiste mieux à un déplacement latéral des granulats formant son squelette minéral (essai Hveem), qu'il est l'enrobé le moins déformable (essai de viscosité apparente) et qu'il est celui qui a un bon comportement élastique pourvu que les déformations imposées soient faibles (module d'élasticité). Il occupe aussi dans la classification des mélanges pour l'essai de chantier, la première place.

#### 5.1.3 Le mélange Styrelf:

Le mélange Styrelf occupe une position médiane dans la classification de ces mélanges. Ceci est valable pour l'essai Hveem et pour la profondeur d'ornièr en chan-

tier. Cependant s'il occupe une bonne place pour le module d'élasticité et la valeur du VBC (74%), il occupe la dernière place pour l'essai de viscosité apparente. Cet essai n'a pas encore de spécifications définies, cependant, une viscosité trop élevée ne constitue pas toujours un cas favorable, mais une certaine souplesse du revêtement est toujours souhaitable. Il se peut donc que le mélange Styrelf malgré sa position par rapport aux autres mélanges réponde à ces conditions minimales. La position qu'il occupe dans la classification de l'essai de chantier tendrait à le prouver. Cette conclusion implique que les quatre autres mélanges sont moins déformables que Styrelf.

#### 5.1.4 Les mélanges aux latex:

Si on compare les positions respectives de ces deux types d'enrobé dans l'essai de chantier on constate que Polysar est en seconde position alors qu'Ultrapave se place en dernière position. Mais, en réalité, Ultrapave présente des performances, globalement, pas très différentes de celles de Polysar, sauf peut être dans le cas de l'essai Hveem.

On observera, dans le tableau 1 et les suivants que le comportement des mélanges modifiés avec des latex sont souvent imprévisibles. On doit chercher l'origine de ce comportement dans le mode de préparation du liant modifié. Polysar est ajouté au bitume d'origine directement au niveau du tambour malaxeur, et Ultrapave dans la canalisation conduisant au malaxeur. Ce mode de préparation donne une dispersion imparfaite des latex dans les bitumes. Ce défaut, visible en chantier, fait que les résultats obtenus à partir de ces échantillons peuvent présenter des difficultés d'interprétation.

Il se peut que cette variabilité des échantillons ne représente pas l'ensemble de la planche d'essai, et que le site où a été fait l'essai de chantier ne soit pas représentatif des échantillons essayés en laboratoire.

#### 5.1.5 Modules de rigidité des liants:

La valeur du module de rigidité des liants déterminée dans des conditions extrêmes d'orniérage pourra permettre une prévision du comportement des enrobés dans ces mêmes conditions. Les résultats de cette analyse sont résumés dans le tableau qui suit:

MÉLANGE	SUSCEPTIBILITÉ PRÉVUE À L'ORNIÉRAGE
TÉMOIN	3
STYRELF	2
POLYSAR	1
ULTRAPAVE	3
KRATON	5

Les conditions posées pour la détermination du module de rigidité sont sévères et sont peut-être peu réalistes. En effet, le mélange Kraton dont la susceptibilité à l'orniérage est élevée, est le mélange qui s'est le mieux comporté pendant les deux premières années de vie du revêtement.

#### 5.1.6 **Corrélations:**

On observe quelques corrélations entre l'essai de mesure de profondeur d'ornière et les essais sur les enrobés. En effet, si on exclut les mélanges dont le liant a été modifié avec les latex, on trouve une corrélation raisonnable entre le module d'élasticité et la profondeur d'ornière, mais aucune corrélation entre l'essai de viscosité et le VBC.

La plus forte corrélation, cependant, est celle qui existe entre l'essai Hveem et l'essai de chantier. Dans les conditions de cette étude on peut donc considérer l'essai Hveem comme un essai prévisionnel important pour apprécier la susceptibilité d'un mélange à l'orniérage.

#### 5.2 **Susceptibilité à la fissuration (tableau 2)**

Les deux critères choisis permettent de couvrir les principales causes de fissuration des revêtements. L'essai de mesure de tension par traction indirecte servira à évaluer surtout la sensibilité de l'enrobé à se rompre sous l'influence des charges de la circulation. La détermination du module de rigidité à basse température servira à évaluer la sensibilité du mélange au phénomène de retrait thermique qui est une cause importante des problèmes de fissuration des enrobés.

On observe une bonne corrélation, dans le cas du module de rigidité, entre les mesures de laboratoire et celles obtenues avec les carottes de l'autoroute. Cette corrélation est moins bonne pour l'essai de traction indirecte, car il existe des différences notables dans le cas des liants modifiés par des latex.

Le mélange témoin se place, de façon surprenante, en troisième position dans le test de tension, mais en dernière position pour le module de rigidité: on doit s'attendre à une résistance convenable vis à vis des charges de la circulation, mais à une grande sensibilité à la fissuration par retrait thermique.

Le mélange Styrelf montre le meilleur comportement face aux deux causes de fissuration. Ce mélange semble bien adapté pour une route à grande circulation pour des périodes de température froide. Les enrobés au latex montrent une variabilité pour l'essai de tension. Le mélange Polysar serait plus sensible à la fissuration due au retrait thermique que le mélange Ultrapave.

Le mélange Kraton présente la moins bonne résistance à la rupture sous l'action des charges de circulation, par contre il sera moins sensible à la fissuration par retrait thermique. Le revêtement avec le polymère Kraton aura un bon comportement à basse température pourvu que le chargement de la chaussée ne soit pas excessif.

### 5.3 Durabilité (tableau 3)

Les critères retenus pour apprécier la durabilité des mélanges sont les essais de trempage, l'intervalle de plasticité, les courbes de la variation de consistance du liants en fonction de la température et le PVN.

#### 5.3.1 Essai de trempage:

Après trempage des enrobés, il est logique de penser que l'action de l'eau a été la même pour tous les échantillons. Or, suivant l'essai auquel ils ont été soumis après trempage, leurs performances peuvent être fort différentes. Ainsi, la durabilité des enrobés peut être différente en fonction de la contrainte qui leur est appliquée.

Le module E et l'essai Hveem peuvent être associés à l'orniérage sous l'action des charges de la circulation. Lors de la mesure du module d'élasticité, on a observé que, quand le taux de compaction augmentait, la perte de module E après trempage croissait dans le même sens. Cette observation n'a pas été vérifiée pour un seul mélange: Kraton. Dans ce cas, la perte de module ne varie pratiquement pas, quel que soit le taux de compactage.

Le mode de trempage des échantillons est sévère: la sursaturation peut provoquer une expansion du matériel (10) qui aurait pour effet d'affecter d'autant plus les vides que la structure est compactée. Dans ce sens, le mélange Kraton se comporte mieux que les autres mélanges et cette propriété a pour conséquence la possibilité d'un enrobage très résistant, et une bonne l'élasticité.

On notera que le mélange Styrelf occupe aussi la première place dans cette classification: ceci est dû au fait qu'à 60 coups de compactage la perte de son module E est égale à celui de Kraton. Néanmoins son comportement à des compacités inférieures est le même que celui des autres mélanges.

Le tableau qui suit montre lequel des deux phénomènes (orniérage ou fissuration) risque le plus d'affecter la durabilité d'un mélange après action de l'eau.

MÉLANGE	FACTEUR AFFECTANT LA DURABILITÉ APRÈS TREMPAGE	
	ORNIÉRAGE	FISSURATION
TÉMOIN		+
STYRELF		+
POLYSAR	+	
ULTRAPAVE	+	
KRATON	+	

Il semble que Kraton aura tendance à s'orniérer après avoir subi l'action de l'eau si on s'en tient au seul résultat de l'essai Hveem. Mais il faut aussi se rappeler que l'action de l'eau à laquelle on a soumis les mélanges en laboratoire est un phénomène peu probable de se produire dans des conditions de service normal.

### 5.3.2 Intervalle de plasticité:

L'intervalle de plasticité définit une plage de température à l'intérieur de laquelle le revêtement offre les meilleures conditions de service. Si cet intervalle est trop étroit, le revêtement résistera mal à des températures limites qu'un revêtement avec un intervalle plus large, pourrait affronter sans difficulté. De façon typique, un bitume conventionnel a un intervalle compris entre  $-10$  et  $+40^{\circ}\text{C}$  approximativement, soit un intervalle de l'ordre de  $50^{\circ}\text{C}$ . L'intervalle de plasticité d'un bitume élastomère est élargi par l'ajout d'un l'additif et peut être compris entre  $-20^{\circ}\text{C}$  et  $+50^{\circ}\text{C}$ , soit un intervalle de plasticité qui peut atteindre largement  $70^{\circ}\text{C}$ .

On observe que Kraton possède l'intervalle de plasticité le plus grand, il est suivi par Ultrapave; Polysar, par contre, n'a pas un intervalle supérieur à celui du bitume témoin et Styrelf occupe une position médiane. De fait, si on considère ce seul paramètre Kraton et Ultrapave devraient avoir une plus basse susceptibilité à l'orniérage et à la fissuration, ce qui augmenteraient leur durabilité.

### 5.3.3 Variation de la consistance en fonction de la température.

La viscosité des liants a été mesurée entre  $-15^{\circ}\text{C}$  et  $+25^{\circ}\text{C}$ . Dans cette gamme de températures, les courbes de variation du logarithme de la viscosité en fonction de la température sont des droites. Le tableau montre que Ultrapave et Kraton sont les liants qui sont les moins susceptibles thermiquement et devraient permettre d'obtenir des mélanges plus durables. Le bitume témoin et le liant Styrelf sont les plus susceptibles alors que Polymar occupe une position médiane. Il convient cependant de signaler que les différences entre Polysar et Styrelf sont minimales (moins de 2%), alors que le témoin se classe beaucoup plus loin derrière ces liants.

En comparant la classification obtenue pour la viscosité et le PVN, on observe une bonne corrélation.

6.0

**Conclusion:**

Cette étude a été faite en faisant l'hypothèse raisonnable que le liant est la seule variable affectant de façon sensible le comportement des enrobés. Les liants Styrelf et Kraton sont des liants modifiés par un SBS, le premier ayant l'additif greffé chimiquement à la matrice bitumineuse, le second constitue avec l'additif un mélange biphasique compatible.

Les liants aux latex sont préparés en usine sous forme d'une dispersion favorisée par les dimensions de ce type d'additif. On sait que cette dispersion a été plus ou moins bonne en chantier. La stabilité de cette dispersion peut être remise en question car la notion de compatibilité "polymère-liant" n'a pas été retenue, de sorte que l'ajout d'un latex dans un bitume lui fait plutôt jouer le rôle d'une armature ou bien l'apparente à un filler de type spécial.

L'enrobé Kraton, par ses propriétés d'enrobage et par le grand nombre de fois où il a obtenu la première place dans les classifications, mérite une attention particulière. Derrière Kraton, se place le liant Syrelf, dont les qualités lui ont toujours fait tenir un rôle de second plan. Cette place est peut-être décevante pour ce matériel, mais l'acheminement du produit dans des conditions médiocres entre le lieu de production et le chantier n'aurait pas été sans avoir affecté ses qualités potentielles.

Enfin, les liants aux latex qui changent et aussi les propriétés des bitumes où ils sont dispersés, possèdent un comportement très variable et inattendu, souvent d'interprétation difficile. Une meilleure formulation de ce type d'enrobés devrait être envisagée, car la fabrication sur place ne semble pas la plus adéquate.

D'une façon générale, on constate que, sous de nombreux aspects, l'addition d'un élastomère à un bitume améliore ses propriétés de façon appréciable: le nouveau liant est capable d'affronter les problèmes d'orniérage et de fissuration d'une façon plus efficace qu'un bitume conventionnel, et ses performances aux températures extrêmes d'utilisation augmentent de façon notable.

En raison de leur coût plus élevé, ces liants doivent être utilisés judicieusement, là, où les problèmes qu'ils peuvent résoudre sont prédominants.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Y. Brion, B. Brûlé, Etude des mélanges bitumes-polymères. Composition, structure, propriétés. LCPC, Série PC6, 1986, Paris.
2. B. Brûlé, Liants modifiés par des polymères pour enduits et enrobés spéciaux, LCPC, Série PC5, 1986, Paris.
3. H.W., Muncy, G.N. King, G.N., Prudhomme, J.B., Polymer modification: Binder's effect on mix properties. AAPT (1986) pp 519-539.
4. T.S. Shuler, J.H. Collins, Kirkpatrick, J.P., Polymer modified asphalt. Properties related to Asphalt concrete performance. ASTM-STP 941, pp 179-198.
5. J.C. Moreux, R. Langlois, A. Dion, Influence du chauffage sur les propriétés d'un mélange bitumineux, Proceedings of the CTAA, Vol. XXXI, 1986, Vancouver, pp 246-268.
6. N.W. McLeod, Asphalt Cements: Pen-Vis Number and its Application to Moduli of Stiffness. J. of Testing and Evaluation 4 (1976) pp 275-282.
7. P.S. Kandhal, W.C. Koehler, Effect of Rheological Properties of Asphalt on Pavement Cracking. ASTM STP 941 pp 99-117.
8. M. Tia, B.R., Ruth, Basic Rheology and Rheological Concept Established by H.E. Schwyer. Asphalt rheology: relationship to mixture. ASTM STP 941, pp 118-145.
9. R.I., Lottman, Predicting Moisture Induced Pavage to Asphaltic Concrete. Transportation Research Board, Report 192, Ntl. Res. Council, 1978, Washington, D.C.
10. J.S. Koplantz, D.E. Newcomb, Water Sensivity Test Methods for Asphalt Concrete Mixture. A laboratory Comparison, Transportation Research Record, 1171, Washington D.C.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 199 193