

# RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT DES REVETEMENTS D'ASPHALTE ANTI-VERGLAS AU MOYEN DES GRAINS DE CAOUTCHOUC

Katsuhisa Sato et Hiroaki Hori

Le Service d'Ingénierie et le Laboratoire de Recherche Technique,  
Obayashi Road Corporation  
1-24-1, Minami-aoyama, Minato-ku, Tokyo 107-8540, Japon  
Tél.: +81-3-3796-6508 / Fax: +81-3-3796-6520  
E-mail: skatsu@obayashi-road.co.jp

## 1. Résumé

Au Japon, après que l'usage des pneus cloutés a été interdit en 1991, différents types de revêtements anti-verglas des chaussées ont été étudiés et mis au point pour assurer la sécurité de la circulation en hiver.

Nous avons mis au point trois types de corps de chaussée d'asphalte contenant des grains de caoutchouc réputés efficaces pour déverglacer:

- (1) enrobé à granularité discontinue contenant des grains de caoutchouc
- (2) mastic bitumineux avec des grains de caoutchouc comme charges (mastic B.C.) pour former une couche protectrice extrêmement mince
- (3) enrobé à granularité ouverte contenant des grains de caoutchouc

Le mécanisme de l'écaillage du verglas sur la chaussée en enrobé hydrocarboné avait été étudié au moyen des essais sur modèle, des essais photoélastiques, et de l'analyse par la méthode des éléments finis. Les résultats de ces examens nous ont permis d'établir clairement les explications du mécanisme de décollement de glace en écailles sur la chaussée en enrobé contenant des grains de caoutchouc.

Pour les enrobés hydrocarbonés envisagés, des constituants appropriés des enrobés, des méthodes pour produire industriellement ces enrobés et des méthodes des travaux de construction de la chaussée ont été étudiés et déterminés par des essais en laboratoire, des essais de production dans un poste spécialisé, ainsi que par des essais effectués sur place à une petite échelle.

Généralement, un enrobé hydrocarboné à granularité discontinue ayant la composition ainsi déterminée comprend, l'agrégat traditionnel à granularité discontinue, des grains de caoutchouc (environ 2 à 4% du poids), du filler (des fines) et du bitume modifié par résine synthétique. Le mastic B.C. est un mastic bitumineux qui se compose d'une fraction importante des grains de caoutchouc (jusqu'à 20 à 30% du poids), du filler et du bitume modifié par résine synthétique. L'enrobé à granularité ouverte est un bitume poreux, présentant une grande élasticité due à la propriété des grains de caoutchouc qu'il contient. Cet enrobé est composé d'un agrégat à granularité discontinue, des grains de caoutchouc (approximativement 1% du poids), de filler et de bitume modifié par résine synthétique. Dans le cas de cet enrobé à granularité discontinue, on peut procéder éventuellement au répandage de grains de caoutchouc en sus des grains incorporés dans l'enrobé

Ces trois méthodes avaient été testées sur quelques routes en service et, leur propriété favorisant l'écaillage de la couche de glace couvrant la chaussée a été observée en hiver. Il a été établi que ces méthodes mises au point à l'aide des grains de caoutchouc incorporés dans la couche superficielle de la chaussée sont toutes très efficaces pour décoller la couche de glace formée sur le revêtement. Sur la base des résultats des essais effectués sur place, elles ont été mises en pratique pour l'exécution des travaux routiers.

Dans le présent exposé, nous examinerons la conception des méthodes, et le mécanisme de décollement des plaques de verglas formé sur la chaussée en enrobé au bitume contenant des grains de caoutchouc. Nous traiterons ensuite des résultats des essais en laboratoire, des essais de production dans un poste spécialisé, et des essais effectués sur place à une petite échelle, ainsi que de la performance de ces trois méthodes développées dont l'efficacité a été démontrée lors des essais sur de véritables routes. En dernier lieu, les possibilités de ces méthodes mises au point pour la construction des revêtements anti-verglas seront présentées dans leurs grandes lignes.

## **2. Introduction**

Au Japon, après que l'usage des pneus cloutés a été interdit en 1991, différents types de revêtements anti-verglas des chaussées ont été étudiés et mis au point pour assurer la sécurité de la circulation en hiver.

Nous avons mis au point trois types de corps de chaussée d'asphalte contenant des grains de caoutchouc réputés efficaces pour déverglacer:

- (1) enrobé à granularité discontinue contenant des grains de caoutchouc
- (2) mastic bitumineux avec des grains de caoutchouc comme charges (mastic B.C.) pour former une couche protectrice extrêmement mince
- (3) enrobé à granularité ouverte contenant des grains de caoutchouc

Le mécanisme de l'écaillage du verglas sur la chaussée en enrobé hydrocarboné avait été étudié au moyen des essais sur modèle, par des essais photoélastiques, et par l'analyse par la modélisation de l'ensemble fini d'éléments. Les résultats de ces examens nous ont permis d'établir clairement les explications du mécanisme de décollement de glace en écailles sur la chaussée en enrobé avec des grains de caoutchouc.

Pour les mélanges hydrocarbonés envisagés, des constituants appropriés des enrobés, des méthodes pour produire industriellement ces enrobés et des méthodes des travaux de construction de la chaussée ont été étudiés et déterminés par des essais en laboratoire, des essais de production dans un poste spécialisé, ainsi que par des essais effectués sur place à une petite échelle.

Ces trois méthodes avaient été testées sur quelques routes en service et leur propriété anti-verglas couvrant la chaussée a été observée en hiver. Il a été établi que ces méthodes mises au point à l'aide des grains de caoutchouc incorporés dans la couche superficielle de la chaussée sont toutes très efficaces pour décoller la couche de glace formée sur le revêtement. Sur la base des résultats des essais effectués sur place, elles ont été mises en pratique pour l'exécution des travaux routiers.

Dans le présent exposé, nous examinerons la conception des méthodes, et le mécanisme de décollement des plaques de verglas formé sur la chaussée en enrobé au bitume contenant des grains de caoutchouc. Nous traiterons ensuite des résultats des essais en laboratoire, des essais de production dans un poste spécialisé, et des essais effectués sur place à une petite échelle, ainsi que de la performance de ces trois méthodes développées dont l'efficacité a été démontré lors des

essais sur de véritables routes. En dernier lieu, les possibilités de ces méthodes mises au point pour la construction des revêtements anti-verglas seront présentées dans leurs grandes lignes.

### 3. Effets produits sur le décollement des plaques de verglas, par le revêtement en enrobé hydrocarboné contenant des grains de caoutchouc

On a admis que la plaque de verglas ou la couche de glace formée de neige compactée sur la chaussée en enrobé hydrocarboné contenant des grains de caoutchouc (AMRP pour Asphalt Mixtures with Rubber Particles) pourrait facilement être détachée, sous l'effet des charges communiquées par la circulation des véhicules sur un revêtement flexible grâce aux grains de caoutchouc.

Le mécanisme du décollement de la plaque de verglas et divers facteurs susceptibles d'agir sur son efficacité ont été étudiés au moyen des essais sur modèle, des essais photoélastiques, et des analyses par la méthode des éléments finis <sup>1), 2)</sup>. Les grains de caoutchouc à fleur de chaussée sont considérés comme très efficaces pour détacher la couche de glace de la chaussée.

La coupe du revêtement montrée à la Figure 3.1 représente celle des modèles réalisés pour reproduire d'une manière simplifiée les conditions de la surface des chaussées, sur lesquels ont été effectués des essais au moyen d'un cylindre de 4 cm de diamètre. La Figure 3.2 représente la corrélation entre la charge nécessaire pour faire apparaître des fissures dans la plaque de glace et l'épaisseur de la couche de glace. Pour amorcer une fissure dans la couche de glace, force est de constater qu'une plus petite charge suffit pour les modèles avec des grains que ceux sans grains de caoutchouc. Pour les deux modèles, avec ou sans grains de caoutchouc, plus la couche de glace est épaisse, plus la charge nécessaire pour y amorcer la fissuration est grande. Lorsque l'épaisseur de la couche de glace est considérablement importante, la propriété de décoller la glace que les grains de caoutchouc ont est moins efficace.

Les résultats des essais sur modèle ont montré que la présence des grains de caoutchouc favorisait l'amorçage de la fissuration de la couche de glace sur la chaussée asphaltée. Par conséquent, des essais photoélastiques et l'analyse par la méthode des éléments finis ont été menés en vue d'examiner

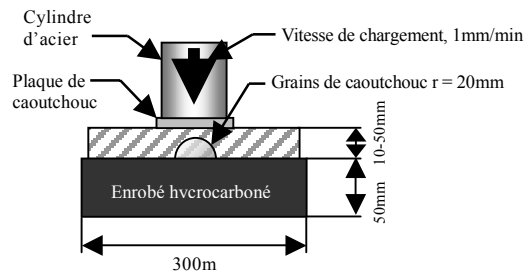


Figure 3.1 Echantillon pour l'essai sur modèle

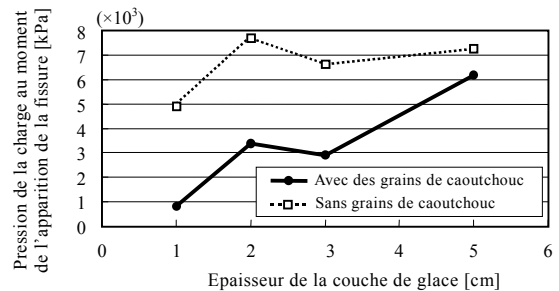


Figure 3.2 Corrélation entre l'épaisseur de la couche de glace et la pression de la charge exercée au moment de l'apparition de la fissure

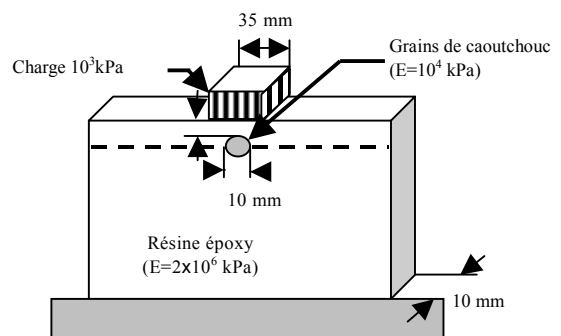


Figure 3.3 Modèle destiné à l'essai photoélastique

les efforts qui s'exerçaient à l'intérieur de la couche de glace autour des grains de caoutchouc et le mécanisme de décollement dû aux enrobés hydrocarbonés avec des grains de caoutchouc.

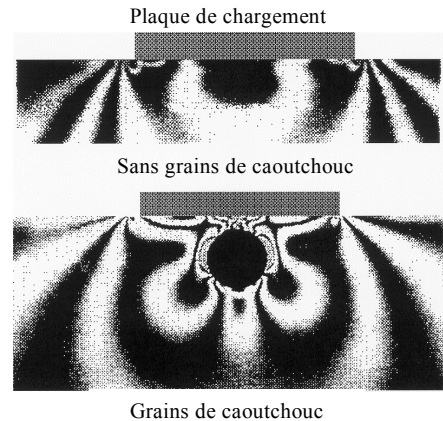
La Figure 3.3 montre le modèle utilisé pour l'essai photoélastique. La Figure 3.4 montre des couches isochromatiques d'un modèle sous l'effet de la charge, avec ou sans grains de caoutchouc. Il est établi que la contrainte provoquée autour des grains de caoutchouc est de 2,5 fois plus importante que celle observée dans un modèle sans grains de caoutchouc.

Le régime de contraintes dans la couche de glace a été analysé à l'aide d'un modèle des éléments finis symétriques par rapport à l'axe comme celui montré à la Figure 3.5. La Figure 3.6 montre la corrélation entre l'effort radial près du sommet du grain de caoutchouc  $\sigma_r$ , et l'épaisseur de la couche de glace  $h$ . Généralement, lorsque  $h$  est petit, l'effort est de compression. Et à mesure que  $h$  devient grand, il tourne à l'effort de traction en atteignant le summum à  $h=15-30$  mm. Ce grand effort de traction autour du grain de caoutchouc pourrait occasionner des fissures dans la glace qui en facilitent le décollement des plaques. Les résultats de l'analyse par la méthode des éléments finis des effets de la forme et de la dureté des grains de caoutchouc ont montré que ces facteurs n'avaient pas de grandes influences sur leur efficacité.

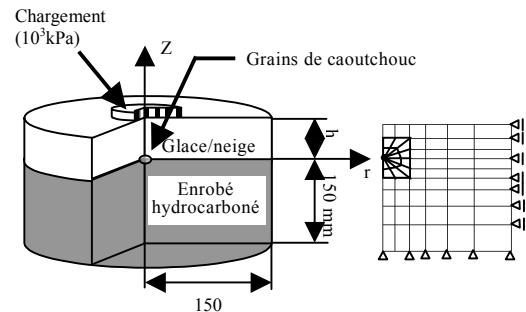
Jugeant des résultats des essais sur modèle, des essais photoélastiques, et de l'analyse par la méthode des éléments finis, on voit bien que l'efficacité de l'AMRP pour détacher la plaque de glace est due à la concentration de efforts dans la couche de glace autour des grains de caoutchouc sur la chaussée sous la charge mobile.

#### 4. Grains de caoutchouc pour les enrobés hydrocarbonés

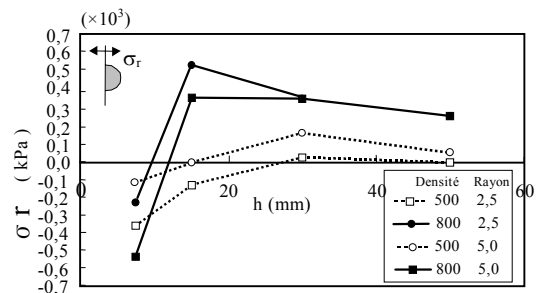
Les grains de caoutchouc utilisés comme constituant des enrobés sont en fait des déchets de vieux caoutchouc broyés. Cependant, en cas d'enrobés à granularité ouverte contenant des grains de caoutchouc (OMRP pour Open-graded mixtures with Rubber Particles), les propriétés des enrobés peuvent varier suivant la nature du caoutchouc utilisé, qui peut modifier les caractéristiques du mortier bitumineux. Pour cette raison, deux types de grains de caoutchouc caractéristiques ont été sélectionnées: des déchets de vieux pneus broyés (RP-A) et des déchets de



**Figure 3.4 Couches isochromatiques d'un essai photoélastique**



**Figure 3.5 Modèle des éléments finis symétriques par rapport à l'axe**



**Figure 3.6 Corrélation entre  $\sigma_r$  et l'épaisseur de la couche de glace**

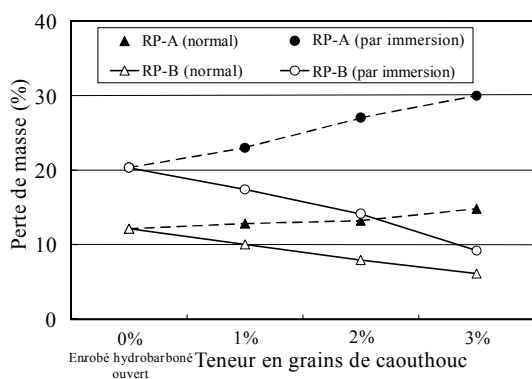
garnitures d'étanchéité en caoutchouc broyés (RP-A). En utilisant ces deux types de grains de caoutchouc, un certain nombre d'expériences ont été effectuées en vue d'éclaircir les propriétés des enrobés.

La Figure 4.1 montre les résultats des essais «Normal Cantabor» qui ont été effectués à une température de 20°C. Les essais «Immersed Cantabor (Cantabor par immersion)» ont été menés à une température de 20°C, comme Cantabor normal, après l'immersion des échantillons dans l'eau chauffée à 60°C pendant 48 heures, suivie d'une cure de 6 heures à 20°C. La composition de l'OMRP a été déterminée avec la même méthode que pour la formulation des enrobés ouverts dans lesquels le pourcentage de vides est élevé. Dans le cas des RP-A, la perte de masse s'accroît, au fur et à mesure que la teneur en grains de caoutchouc augmente. Cette tendance est plus notable, quand l'échantillon est immergé. Mais au contraire avec des RP-B, la perte de masse diminue suivant l'augmentation de cette teneur. Par conséquent, du point de vue longévité, les grains de caoutchouc provenant des RP-B sont plus performants que ceux des RP-A.

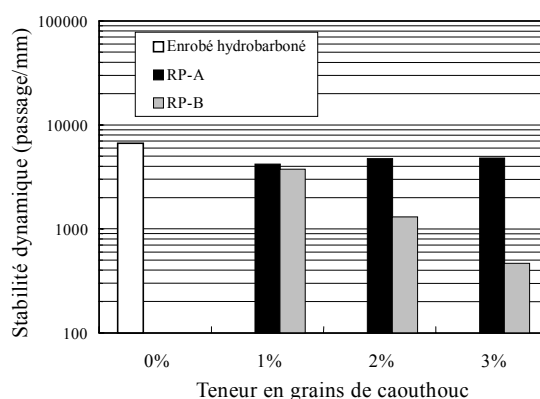
La Figure 4.2 montre la stabilité dynamique (DS) résultant des essais de trace de roue. Les valeurs de DS obtenues avec les RP-A sont similaires à celles du revêtement en enrobé ouvert, mais les valeurs de DS des RP-B diminuent lorsque la teneur en grains de caoutchouc augmente.

Etant donné ces résultats, il a été établi que pour la fabrication des enrobés à granularité ouverte, il faudrait opter pour les grains de caoutchouc provenant des RP-B, au point de vue de l'imperméabilité, et que la teneur en RP-B devrait être inférieure à 1 % au point de vue de la stabilité.

Pour prévenir la formation des couches de glace, les grains de caoutchouc seraient plus efficaces s'ils se trouvent à la surface du revêtement. Cependant, avec des enrobés à granularité ouverte, comme la surface du revêtement réalisé avec ces matériaux est poreuse, et qu'il y a peu de grains de caoutchouc à fleur de revêtement, il faudra répandre sur le revêtement une certaine quantité de grains de caoutchouc afin qu'ils y restent adhérents.



**Figure 4.1 Résultats des essais Cantabor (normal, par immersion)**



**Figure 4.2 Résultats des essais de trace de roue**

Deux méthodes pour retenir des grains de caoutchouc à la surface du revêtement ont été étudiées: la méthode qui consiste à utiliser de la résine époxy (RP-C) comme colle, et celle qui fait adhérer des grains de caoutchouc contenant de la résine époxy au revêtement de la manière suivante. OMRP sont placés dans un coffrage et on répand de la RP-C sur leur surface, avant de procéder au compactage de l'ensemble. La température pendant le compactage doit être maintenue

au-dessus de 140°C. La RP-C adhérera fortement à la surface des OMRP.

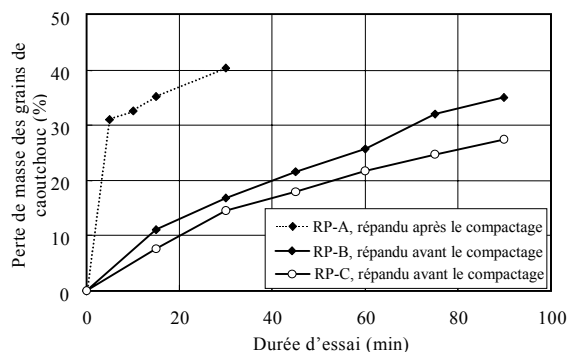
Les niveaux d'exfoliation et de réduction en poussière des grains de caoutchouc sous l'effet de la circulation des véhicules furent vérifiés au moyen d'un essai d'écaillage. Des échantillons de revêtement pour des essais d'écaillage normal avaient été préparés, à la surface desquels des grains de caoutchouc ont été faits adhérer suivant chaque méthode de réalisation. Pour cet essai d'écaillage, on a placé la chaîne dans un tuyau en caoutchouc afin d'éviter que les OMRP ne soient usés par celle-ci. L'essai a été effectué à une température de 20°C. La masse des échantillons a été mesurée avant et après l'essai d'écaillage, pour déterminer la perte de masse des grains de caoutchouc.

La Figure 4.3 montre les résultats des calculs de la perte de masse des grains de caoutchouc. Comme la perte de masse des OMRP était inférieure à 5 % de la masse totale des grains de caoutchouc, elle n'a pas été prise en considération dans les calculs de la perte de masse des grains de caoutchouc. La perte de masse des RP-C est inférieure à celle des RP-A, mis en place au moyen de la résine époxy comme colle.

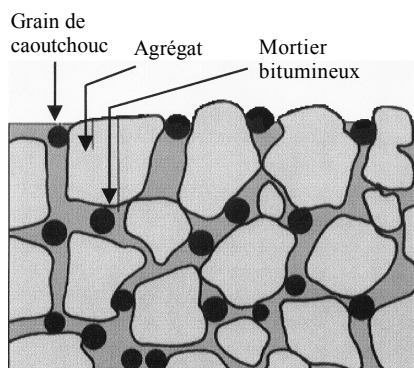
Compte tenu de ces résultats, on peut en conclure que les RP-C sont plus efficaces pour faire adhérer des grains de caoutchouc à la surface asphaltée, car ils résistent mieux aux efforts d'exfoliation d'une part, aux actions tendant à réduire en poudre les grains de caoutchouc d'autre part.

## 5. Enrobé à granularité discontinue contenant des grains de caoutchouc

Les enrobés à granularité discontinue contenant des grains de caoutchouc (GAMRP pour Gap-graded Asphalt Mixture with Rubber Particles) sont composés des agrégats, des grains de caoutchouc, du filler (des fines) et du bitume. La Figure 5.1 représente schématiquement un GAMRP. Il s'est avéré que les grains de caoutchouc à fleur du revêtement en GAMRP étaient efficaces pour le décolllement de la plaque de glace comme cela a été décrit dans la section trois. La Figure 5.2 montre les conditions pendant l'hiver d'une chaussée réalisée avec GAMRP. On



**Figure 4.3 Perte de masse des grains de caoutchouc**



**Figure 5.1 Enrobé à granularité discontinue contenant des grains de caoutchouc**



**Figure 5.2 Etat de la surface du revêtement avec GAMRP**

constate qu'il y a moins de neiges et de la glace sur le revêtement en GAMRP par rapport à la surface du revêtement en enrobés hydrocarbonés normaux. Le Tableau 5.1 donne un état des routes pour lesquelles des GAMRP avaient été mis en oeuvre depuis 20 ans. Cette méthode de travaux a été largement adoptée au Japon dans les régions froides comme une solution anti-verglas efficace.

**Tableau 5.1 Travaux dans lesquels le GAMRP a été mis en oeuvre**

Année	Surface construite (m <sup>2</sup> )
1981-1994	438.899
1995	78.414
1996	69.799
1997	52.919
1998	42.391
1999	18.634

**Tableau 5.2 Formulation typique du GAMRP**

Matériaux	SFB 3	Agrégat minéral gros	Agrégat fin	Filler (fines)	Grains de caoutchouc	Total
Masse %	7,3	59,1	19,6	11,0	3,0	100,0
Volume %	16,5	51,4	16,9	9,1	6,1	100,0

Une formulation typique du GAMRP est représentée au Tableau 5.2. GAMRP contenant des grains de caoutchouc provenant des déchets de vieux pneus broyés, cet enrobé a besoin d'une teneur en liant plus élevée que d'autres enrobés ordinaires. Et le liant utilisé à cet effet doit être un liant modifié, possédant une meilleure résistance à la déformation plastique.

GAMRP est fabriqué dans une centrale à enrobés hydrocarbonés traditionnelle. En mettant cet enrobé en oeuvre à l'aide d'un finisseur traditionnel, l'épaisseur minimale d'une couche compactée que l'on peut obtenir est de 4 cm. Cependant, en utilisant un finisseur de revêtement asphalté équipé d'un système dit multi-couche (MAP pour Multi-Asphalt Paver) (Figure 5.3), GAMRP et la couche immédiatement sous-jacente peuvent être mis en place simultanément et avec une épaisseur de 2 à 3 cm. Au compactage intermédiaire afin de remplir du mortier bitumineux les vides entre les agrégats minéraux gros, le rouleau compacteur à oscillation serait le plus adapté.



**Figure 5.3 Multi-couche (MAP)**

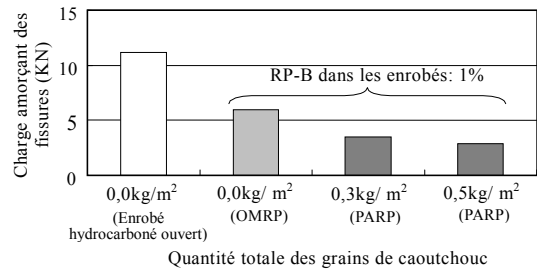
GAMRP pouvant être utilisé comme revêtement anti-verglas, et si, en tant que finisseur, un MAP est utilisé, l'épaisseur de la couche pourrait être réduite, d'où la diminution des coûts de construction, ce qui encouragerait la réalisation de tels revêtements dans l'avenir.

## 6. Revêtement en enrobés ouverts avec des grains de caoutchouc adhérent à sa surface

En vue d'étudier les propriétés des enrobés ouverts avec des grains de caoutchouc adhérent à la surface du revêtement (PARP pour Porous Asphalt with Rubber Particles), qui favorisent le décollement de la plaque de glace, des essais de chargement ont été effectués sur les mêmes échantillons que pour les essais décrits dans la section 3. L'épaisseur de la plaque de glace sur l'échantillon était de 3 mm, et la température de la glace était maintenue à -3°C. La Figure

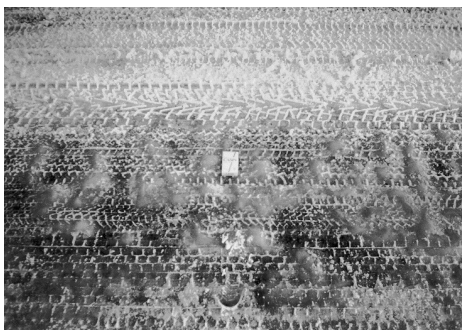
6.1 montre la charge appliquée lorsqu'une fissure fut apparu dans la couche de glace.

La charge nécessaire pour amorcer une fissure en cas d'OMRP et de PARP était moins que la moitié de celle requise avec des enrobés hydrocarbonés ouverts. Il nous semble que la couche de glace sur la surface d'OMRP et de PARP pourrait être facilement décollée et détachée par la charge exercée par la circulation. En outre, la charge exercée sur le PARP étant plus petite que celle sur l'OMRP, les grains de caoutchouc ayant adhéré à la surface ont montré une plus grande efficacité contre la formation de la glace. Ces résultats sont similaires à ceux décrits dans la section 3.



**Figure 6.1 Charge amorçant des fissures**

La Figure 6.2 montre l'état des surfaces en enrobé ouvert et en PARP en hiver. On constate que les neiges compactées sur une chaussée en enrobé ouvert adhèrent fortement à la surface du revêtement, mais celles sur la surface du revêtement en PARP se décollent et disparaissent.



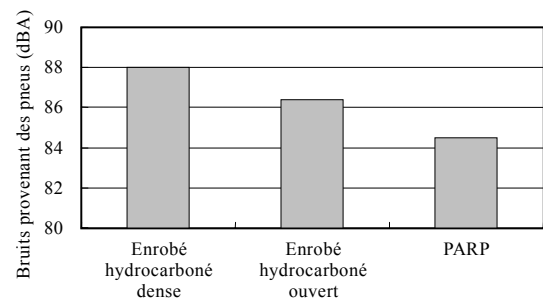
Neige compactée sur le revêtement en enrobé ouvert



Neige compactée sur le revêtement en PARP

**Figure 6.2 Etat des surfaces en hiver**

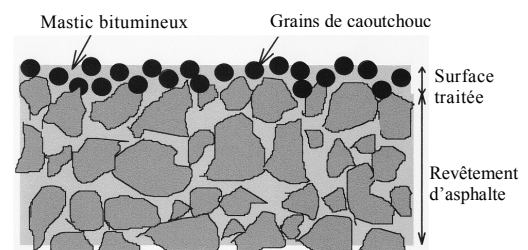
Le PARP est censé être efficace également pour réduire les bruits de circulation. La Figure 6.3 donne les valeurs de bruits mesurées. Cette mesure a été effectuée au moyen d'un micro posé à 50 cm du centre de la roue arrière droite d'une voiture particulière, et à 15 cm de la surface de la chaussée. Le bruit de roulement émis par le pneu a été mesuré à une vitesse de 50 km/h. Il se confirme que les grains de caoutchouc adhérents à la surface contribuaient à la réduction des bruits, ayant pour rôle d'amortir les chocs entre le pneu et le revêtement.



**Figure 6.3 Bruits provenant des pneus**

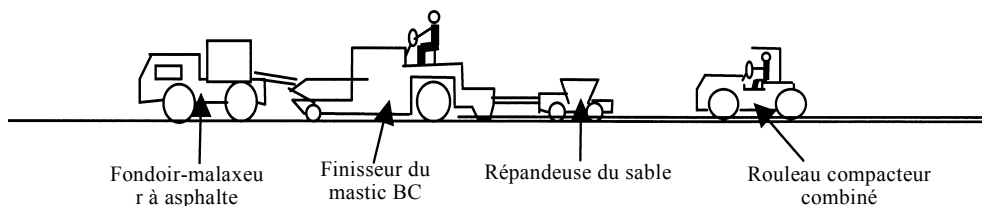
## 7. Couche de surface extrêmement mince en mastic bitumineux avec des grains de caoutchouc

La méthode d'exécution d'une couche de surface extrêmement fine en mastic bitumineux avec des



**Figure 7.1 Mastic B.C.**



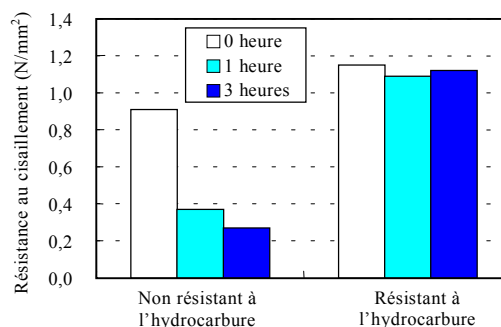


**Figure 7.2 Train de revêtement pour la fabrication du mastic BC**

grains de caoutchouc (mastic BC) a été mise au point dans l'intention d'améliorer l'efficacité anti-verglas et de réduire les coûts des travaux entraînés par les méthodes traditionnelles <sup>3), 4)</sup>. La Figure 7.1 représente la structure de la couche de surface traitée avec du mastic BC.

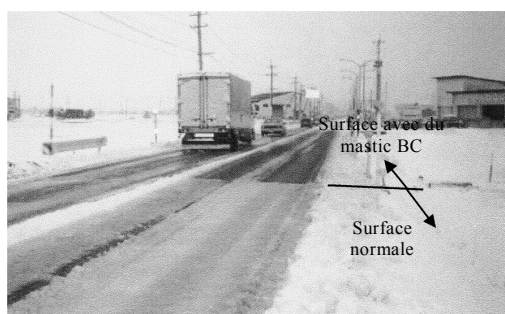
Le mastic BC est fabriqué en mélangeant des grains de caoutchouc, du bitume, du filler, du sable et des fibres dans une centrale à enrobés hydrocarbonés traditionnelle. Le mastic BC est transporté et re-malaxé dans un fondoir-malaxeur à asphalte, jusqu'à ce qu'il obtienne une liquidité appropriée pour le coulage et la mise en oeuvre sur une épaisseur de 5 à 7 mm au moyen d'un finisseur d'asphalte spécial, équipé d'une lame en caoutchouc. La Figure 7.2 indique le procédé de la mise en oeuvre du mastic BC.

Tout au début, il y eut quelques problèmes, tels que le phénomène d'exfoliation entre le mastic BC et le revêtement existant. Ils étaient apparemment dus au fait que les grains de caoutchouc absorbaient de l'huile de bitume, en rendant le mastic BC trop ferme, ce qui diminuait l'adhérence entre le mastic BC et le revêtement existant. Pour résoudre cet inconvénient, les caractéristiques des déchets de caoutchouc résistant à l'hydrocarbure ont été étudiées. La Figure 7.3 montre les résultats des essais de cisaillement, effectués pour vérifier l'adhérence entre le mastic BC et les enrobés hydrocarbonés. La résistance au cisaillement du mastic BC avec des grains de caoutchouc résistant à l'hydrocarbure est plus élevée que celui avec des grains de caoutchouc non résistant à l'hydrocarbure. Par conséquent, l'utilisation des grains de caoutchouc résistant à l'hydrocarbure a été décidée pour la fabrication du mastic BC.



**Figure 7.3 Résultats des essais de cisaillement**

Une composition standard du mastic BC est présentée au Tableau 7.1. Le bitume modifié est utilisé, compte tenu de ses caractéristiques supérieures permettant de s'emparer des grains de caoutchouc.



**Figure 7.4 Etat de la surface du revêtement en mastic BC en hiver**

**Tableau 7.1 Formulation standard du mastic BC**

Matériau	Pourcentage par masse
Filler (fines)	40-50 %
Sable	10-20 %
Caoutchouc	15-25 %
Fibre	0,1-0,3 %
Bitume modifié	20-30 %

Sur les routes réelles qui se trouvent dans des régions d'abondantes précipitations de neige, la surface du revêtement fut traitée avec du mastic BC. La Figure 7.4 montre l'état d'une route traitée avec du mastic BC. On observe que sur la surface avec du mastic BC, il y a moins de neige et de glace, par rapport à celle du revêtement sans mastic BC.

Par conséquent, il est établi que le traitement de la surface avec du mastic BC est très efficace pour prévenir la formation des plaques de glace par la neige amoncelée sur la chaussée.

## 8. Conclusions

Cet exposé porte surtout sur les questions du revêtement de la chaussée contenant des grains de caoutchouc ayant la propriété de favoriser le décollement de la plaque de glace. Nos conclusions sont les suivantes:

- (1) Certains revêtements d'asphalte contenant des grains de caoutchouc ont une propriété anti-verglas, grâce à la concentration des efforts dans l'épaisseur de la glace autour des grains de caoutchouc à fleur de revêtement, sous l'effet de la charge communiquée par la circulation.
- (2) Les grains de caoutchouc provenant des déchets de garnitures en caoutchouc broyés sont appropriés comme constituant des enrobés hydrocarbonés mis au point pour lutter contre le verglas.
- (3) Les grains de caoutchouc spéciaux contenant de la résine époxy sont appropriés pour obtenir une bonne adhérence des grains de caoutchouc à la surface des enrobés hydrocarbonés.
- (4) L'enrobé à granularité discontinue contenant des grains de caoutchouc peut être utilisé pour la construction d'un revêtement anti-verglas.
- (5) Les revêtements en enrobés ouverts avec des grains de caoutchouc adhérant à la surface du revêtement sont très efficaces non seulement pour prévenir la formation de la couche de glace, mais aussi pour réduire les bruits de circulation.
- (6) Le traitement de surface du revêtement en mastic BC est tout à fait indiqué pour obtenir un revêtement anti-verglas efficace.

## Références

- 1) Taniguchi, T., et al.: Mécanisme du décollement de la plaque de glace sur le revêtement en enrobés hydrocarbonés contenant des grains de caoutchouc, Débats, 6<sup>e</sup> Atelier (Workshop) sur les revêtements routière dans les régions froides, pp.199-213, oct. 1996.
- 2) Nishizawa, et al.: Les Effets des enrobés hydrocarbonés contenant des grains de caoutchouc sur le décollement de la plaque de glace, Débats, 5<sup>e</sup> Symposium International sur le développement des régions aux climats froids, pp.529-532, mai 1997.5
- 3) Inaba, I., et al.: Revêtement anti-verglas extrêmement mince, au moyen du mastic bitumineux contenant des grains de caoutchouc, Débats, 1<sup>er</sup> Conférence mondiale sur le revêtement des autoroutes, pp.148-152, mai 1998.
- 4) Nishizawa, T., et al.: Efficacité du traitement de la surface extrêmement mince des revêtements anti-verglas, au moyen du mastic bitumineux contenant des grains de caoutchouc, Débats, 6<sup>e</sup> Symposium International sur le développement des régions aux climats froids, pp.249-252, feb 2000.2.