

**ASSISE EN BITUME DUR ET REVETEMENT EN BITUME MULTIGRADE :
UN COUPLE INNOVANT POUR LUTTER CONTRE L'ORNIERAGE DES CHAUSSEES
ET REDUIRE LES COÛTS DE MAINTENANCE A LONG-TERME,
EXPERIMENTATIONS EN FRANCE ET EN BELGIQUE.**

D. Jamois
TOTAL France, Direction Bitumes, Paris, France
didier.jamois@total.com

J. Berger
MET, Ministère Wallon de l'Équipement et des transports, Nivelles, Belgique
jberger@met.be

C. Such
LCPC, Division Matériaux et Structures de Chaussées, Nantes, France
christian.such@lcpc.fr

J. Verschooren
TOTAL Belgium, Division Bitumes, Bruxelles, Belgique
jan.verschooren@total.com

RÉSUMÉ

Utilisés en assises de chaussées, les bitumes durs de grades 15/25, 10/20 voire 0/10, permettent d'accéder à des niveaux de modules de rigidité d'enrobés très élevés (12.000 à 22.000 MPa à 15°C et 10 Hz) proches parfois de ceux des matériaux traités aux liants hydrauliques. Mis au point dans les années 1980, les liants bitumineux multigrades se sont généralisés dans les années 1990 chez la plupart des producteurs européens de bitumes et ont fait l'objet de nombreuses publications. De multiples chantiers de démonstration technique ont été réalisés avec des bitumes multigrades permettant de montrer l'intérêt majeur de ces produits par rapport aux bitumes routiers à chaud classique, à savoir une diminution par deux de l'ornièrisme globalement constatée sur chaussée à même formulation granulaire d'enrobé bitumineux. Ces bitumes, généralement de grade 35/50, parfois de grades 20/30 voire 50/70 sont devenus d'un usage courant dans l'Union Européenne. Toutes ces innovations permettent de diminuer significativement les quantités de matériaux mis en œuvre à la construction et surtout de diminuer les frais de maintenance du fait d'une longévité accrue des couches d'assises et de roulement, souvent de plusieurs années. Des résultats préliminaires d'une expérimentation réalisée au LCPC en France ainsi que des exemples concrets de chantiers d'applications réalisés en Belgique sur des sites aux contraintes mécaniques difficiles tels que les stations-services, et faisant appel au couple innovant « assise au bitume dur et revêtement au bitume multigrade », sont présentés dans cette communication.

MOTS CLÉS

CHAUSSEES / BITUMES DURS / BITUMES MULTIGRADES / ORNIERAGE / STATION-SERVICE / ASSISES

1. INTRODUCTION SUR LES BITUMES DURS ET MULTIGRADES

Le rapport du comité technique des routes souples C8 présenté au séminaire international bitumes modifiés AIPCR de Rome en Juin 1998 représente une bonne base de connaissances (Corte, 1998). Les bitumes durs se définissent comme des liants d'origine pétrolière ayant une pénétration à 25°C inférieure à 25 1/10mm. Plusieurs grades sont disponibles en Europe, dont les plus courants sont le 10/20 et le 15/25 (France, Belgique, Allemagne). D'autres, tels que le 13/22 (Espagne) ou certains grades expérimentaux (0/10 ou 5/10) peuvent se rencontrer. Les points de ramollissement bille-anneau sont en général compris entre 55 et 76°C. Le module complexe est, à titre indicatif, en général supérieur à 180 MPa (voire 250 MPa) à 10°C et 7,8 Hz, sachant que plus le module du liant est élevé, plus le module de l'enrobé est également élevé à squelette granulaire identique. La principale application est en effet celle des Enrobés à Modules Elevés (EME), technique d'origine française d'un usage courant depuis bientôt 20 ans. L'intérêt est la réduction significative des épaisseurs des couches d'assises et donc une économie de matériaux. Le surcroît de résistance à chaud permet de plus de réduire les risques de déformation permanente par fluage. Du point de vue de la normalisation européenne, l'année 2003 pourrait voir la publication de la norme harmonisée prEN13924 concernant les classes 10/20 et 15/25.

Les bitumes multigrades sont quant à eux destinés principalement aux couches de roulement et de liaison auxquels ils apportent un caractère antiorniérant, mais peuvent parfois être employés en couches d'assises lorsqu'ils apportent un caractère structural suffisant. La principale classe disponible en Europe est le 35/50, mais il est possible de trouver du 20/30 ou 25/35 voire du 50/70 ou du 60/80. Le terme multigrade (on parle également en Belgique de bitume à indice de pénétration positif), aujourd'hui d'un usage courant dans les pays d'Europe de l'Ouest, est synonyme d'un intervalle de température d'emploi nettement plus large que celui des bitumes routiers traditionnels. Ils se caractérisent, par exemple dans le cas des bitumes multigrades 35/50, par :

- une faible susceptibilité thermique (indice de pénétrabilité élevé et variation de module avec la température moins marquée qu'avec un bitume 35/50 classique),
- une consistance élevée à chaud (module équivalent à celui d'un grade dur 10/20) tout en conservant un bon comportement à basse température (module voisin de celui d'un 50/70).

2 – BITUMES MULTIGRADES : EXPERIMENTATION ASFA/LCPC SUR LE MANEGE DE NANTES ENTRE 1992 ET 1998 (FRANCE)

Dans les années 1990, plusieurs expérimentations sur l'orniérage des enrobés de roulement ont été réalisées au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Nantes en partenariat avec l'Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes (ASFA) et des pétroliers français producteurs de bitumes. L'objectif de toutes ces études était d'évaluer, par comparaison avec un enrobé au bitume routier 50/70 classique, l'effet des liants spéciaux notamment durs (10/20) et multigrades (50/70 puis 35/50) vis à vis de leur résistance à l'orniérage.

Par des essais en vraie grandeur sur le manège du LCPC en complément des essais de laboratoire (Corte, 1998), de nombreux résultats avaient été obtenus dès les premières expérimentations de 1992-94 :

- effet majeur de la nature du liant sur l'amélioration de la résistance à l'orniérage, notamment dans le cas expérimental d'une formulation d'enrobé rendue volontairement orniérante par l'usage de plus de 30% de sable broyé,
- amélioration nette de la résistance à l'orniérage de tels enrobés instables (division de l'ornière d'un facteur 2 à 3 après 30.000 cycles) par l'emploi d'un bitume dur 10/20 ou d'un bitume multigrade 50/70,
- preuve du caractère plus agressif des essieux tridem de poids lourds par rapport aux essieux tandem, ce caractère se traduisant par un accroissement de 20 à 40% de l'ornière sur un enrobé de référence, l'effet étant d'autant plus important que l'enrobé contient une plus forte proportion de sable broyé.

Une deuxième série d'expérimentations (Gramsammer, 1999) a été réalisée en 1996-98 pour compléter ces travaux, et notamment l'expérience « Orniérage 5 » à l'été 1998 afin d'évaluer le comportement à l'orniérage sous essieu tridem (trois roues, donc très agressif) de trois bétons bitumineux BBSG 0/14 faisant appels à des bitumes multigrades de grade 35/50 en comparaison avec un enrobé de référence au bitume routier 35/50 de la norme EN12591, plus représentatif des bitumes actuellement utilisés en couche de roulement en France que le 50/70. Cet essai a permis de montrer l'efficacité des bitumes multigrades. Le BBSG testé avait été formulé pour conduire en laboratoire à une ornière de 13% après seulement 3000 chargements lors d'un essai à l'orniéreur LPC à 60°C. L'épaisseur des couches de BBSG était de 9 cm pour les 4 liants testés. A l'issue de 150.000 chargements, les ornières sont 2,5 à 3,3 fois plus faible sur les enrobés aux bitumes multigrades que sur l'enrobé au bitume classique, avec une amélioration de performance d'autant plus prononcée que la température est élevée. Les différences sont par contre minimales entre les trois liants multigrades testés.

En complément de cette expérimentation, un programme additionnel d'essais de laboratoire sur matériaux a été réalisé en 1999-2002, conjointement entre le LCPC et les trois pétroliers participants. L'objectif était de mettre en évidence des relations performantielles entre les propriétés des enrobés testés et celles des liants multigrades utilisés, notamment aux températures basses (résistance à la fissuration) et intermédiaires (résistance à la fatigue). Les premières tendances de cette étude traduisent :

- par rapports aux bitumes routiers standards, les températures d'isomodule à 300 MPa mesurées à l'essai Bending Beam Rheometer (BBR, XPT 66-062) sont significativement plus basses, même après vieillissement simulé RTFOT+PAV (20h) ce qui est favorable à une meilleure tenue à froid ; l'essai de Fraass plus empirique traduit la même tendance,
- aux températures intermédiaires de service, et du fait d'un niveau de module complexe des liants multigrades à 15°C / 10 Hz environ deux fois plus faible que pour les bitumes 35/50 classiques, on peut s'attendre à une absence de fissuration ; ceci se traduit également par des modules plus faibles dans les enrobés avec un niveau moyen de 8.000 MPa à 15°C / 10 Hz (au lieu de 11.000 pour le bitume 35/50 classique) à même squelette granulaire. Le niveau plus faible du module complexe ne constitue cependant pas un obstacle à un bon dimensionnement de la chaussée puisque c'est à la couche d'assise que revient le rôle d'apporter un caractère structurant.
- à hautes températures, les niveaux de modules complexes mesurés au DSR sont nettement plus élevés, avant comme après RTFOT, que pour un bitume routier 35/50 classique (environ 10 à 12°C de plus pour la température à laquelle le module $G^* = 10$ kPa à 7,8 Hz). La meilleure tenue aux déformations permanentes est confirmée par l'essai manège.

Les résultats complets de cette étude devraient être publiés courant 2004.

3 – COUPLE BITUME DUR ET BITUME MULTIGRADE : CHANTIERS DE DEMONSTRATION TECHNIQUE (BELGIQUE)

3.1 Chantier de la station-services de Nivelles sur l'autoroute E19-Bruxelles/Mons (Belgique, 2000)

A l'occasion d'un projet de construction d'une station-service neuve de part et d'autre de l'autoroute E19 entre Bruxelles et Mons à « Orival » près de Nivelles, un chantier routier innovant faisant appel à des bitumes durs et spéciaux a été proposé aux équipes techniques du Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports (MET) (Jamois, 2001). Dès l'origine du projet, une approche volontairement partenariale avait été privilégiée, les différentes parties prenantes s'attachant à trouver un langage commun. De fait et à titre d'exemple, si en France le test de référence est l'essai d'orniérage LCPC, pratiqué à 60°C jusqu'à 30.000 cycles, la Belgique a recours à un essai à 35°C poursuivi jusqu'à 100.000 cycles. En terme de formulation, la difficulté était de réussir à respecter la réglementation Wallonne (cahier des charges CCT RW 99) tout en jouant avec l'espace de liberté en matière de composition granulaire et de teneur en liant afin d'optimiser les performances finales des enrobés appliqués.

3.1.1. Etude de laboratoire

Pour supporter pendant 30 ans (durée de la concession) un trafic estimé à 4000 véhicules par jour, dont 15% de poids lourds, la structure retenue par le MET était :
5 cm SMA B1 0/14 (couche de roulement) + 12 cm BB3A 0/20 (couche d'assises) + 20 cm de béton maigre + 25 cm de sable drainant sur sol limoneux gélif (couches de fondation).

Afin de limiter les risques d'orniérage sur la voie poids lourds, l'étude a consisté à rechercher une solution innovante faisant intervenir un bitume dur spécial 15/25 pour la couche d'assise et un bitume multigrade 35/50 pour la couche de roulement.

Après analyses granulométriques des différentes coupes de matériaux, les essais ont consisté à optimiser les formulations à la Presse à Cisaillement Giratoire (PCG) et selon la démarche Marshall. L'orniérage étant un endommagement pouvant affecter aussi bien la couche d'assise que la couche de roulement, la résistance aux déformations permanentes des enrobés a été testée sur le simulateur de trafic LPC et par détermination du fluage Marshall. Enfin, la résistance au désenrobage par l'eau a été vérifiée en pratiquant des essais d'immersion sur des éprouvettes Duriez. La structure de base de la chaussée ayant été établie, avec un BB3A formulé avec un bitume de grade 50/70, le passage à un bitume dur allant dans le sens d'un accroissement de la rigidité de la couche d'assise et le maintien des épaisseurs ont conduit à s'affranchir de la détermination du module complexe à 15°C-10 Hz de cet enrobé.

Couche d'assise :

Une formule belge type BB3A 0/20 a été réalisée avec 5,3 ppc de bitume dur 15/25 en veillant à respecter les exigences de composition granulaire et de teneur en liant du cahier des charges RW99. Une autre formule basée sur le concept français d'un enrobé à module élevé (EME 0/14) a été formulée avec 5,1 ppc de bitume dur (classe 1 de la norme AFNOR NFP 98-140, trafic supérieur à 8.000 poids lourds par jour). L'expérience acquise depuis une quinzaine d'années en France a confirmé la nécessité d'atteindre des compacités en place élevées ainsi qu'une teneur en liant suffisante pour garantir une bonne résistance vis-à-vis de la fatigue mécanique. Ces exigences sont fonction du niveau de sollicitation auquel est soumise la couche dans la structure. Compte tenu du faible niveau des déformations en traction à la base de la couche d'assise évaluée lors des

calculs de dimensionnement, des compacités in situ d'au moins 90% ont été jugées suffisantes pour ce chantier. Pour les EME, les modules de rigidité à 15°C-10Hz utilisés dans les calculs de dimensionnement doivent atteindre au moins 14000 MPa.

Comme le montre la table 1, ce bitume dur présente une susceptibilité thermique modérée favorable au maintien de propriétés viscoélastiques à froid nécessaires à la relaxation des contraintes et une consistance élevée à chaud pour limiter le fluage. La mise en œuvre du matériau d'assise étant prévue en deux passes de 6 cm, l'estimation des teneurs en vides sur chantier faites à partir des compacités à 60 girations étaient de 4,2% pour le BB3A 0/20 et 6,8% pour l'EME 0/14.

Table 1 - Caractéristiques du bitume routier de grade dur 15/25

CARACTERISTIQUES		METHODE	
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)		EN 1426	18
Température ramollissement bille anneau (°C)		EN 1427	65,0
IP Pfeiffer		EN 1426	-0,2
Point de fragilité Fraass (°C)		EN 12593	-8
Essai Bending Beam Rheometer (BBR) :		XPT 66062	
• θ 300 MPa (°C)			-12
• θ m = 0,3 (°C)			-14
Modules complexes à 7,8 Hz :		NFT 66065	
• θ pour $G^* = 4/3 \cdot 10^8$ Pa (°C)			7
• θ pour $G^* = 10^4$ Pa (°C)			78
• θ isodéphasage (°C)			25
Après RTFOT (1h15 à 163°C) :		EN12607-1	
• pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)			15
• température ramollissement bille anneau (°C)			72
• Point fragilité Fraass (°C)			-6

A l'issue des essais d'orniérage sur le simulateur de trafic LPC, l'EME 0/14 s'est révélé être le plus performant avec une profondeur moyenne d'ornière de 4,2% après 30.000 cycles à 60°C estimée à la compacité C100 (niveau le plus pénalisant). Ces résultats ont été également confirmés par l'essai d'orniérage belge pratiqué à 35°C qui indiquait 1,4 mm d'ornière moyenne après 100.000 cycles.

La table 2 ci-dessous, récapitule les caractéristiques de l'EME 0/14 mis en place comme couche d'assise sur la voie pour trafic lourd.

Table 2 - Caractéristiques de l'EME 0/14

EME 0//14	Résultats	Repères
<u>Composition :</u>		
Teneur en bitume dur 15/25 (ppc)	5,1	
Module de richesse	3,11	> 2,5
<u>Caractéristiques de l'enrobé :</u>		
• Essai PCG (NF P98-252)		
- compacité 10 girations	85,6	
- compacité 60 girations	93,2	
- compacité 100 girations	95,4	≥ 94
• Essai Marshall (CME 54.14)		
- stabilité (KN)	23,7	≥ 10
- fluage (mm)	2,6	≤ 3,5
• Essai Duriez (NF P98251-1)		
- compacité (%)	92,6	
- résistance à l'écrasement (MPa)	18,2	
- rapport I/C	0,87	≥ 0,75
• Essai orniérage LPC (NF P98253-1)		
- ornière moyenne à 60°C à :		
30000 cycles (%)	4,2	≤ 8
- compacité (%)	95,4	
• Essai orniérage belge (CME 54.18) à 35°C :		
3000 cycles (mm)	0,65	
10000 cycles (mm)	0,91	
30000 cycles (mm)	1,22	
100000 cycles (mm)	1,41	≤ 2,10

Couche de roulement :

Deux objectifs ont été visés dans l'étude :

- atteindre une forte macrotexture pour assurer l'adhérence des véhicules par temps de pluie,
- offrir une bonne résistance à l'orniérage.

Les principales caractéristiques du bitume multigrade utilisé, rassemblées dans la table 3, confirment une consistance à chaud élevée pour limiter le fluage associé à des propriétés viscoélastiques aux températures basses et moyennes permettant de supporter les sollicitations d'origines mécanique et thermique. Ces valeurs répondent aux spécifications de la norme belge NBN T54-105.

Table 3 - Caractéristiques du bitume multigrade 35/50

CARACTERISTIQUES	METHODES	RESULTATS
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)	EN 1426	35
Température bille-anneau (°C)	EN 1427	62,0
IP Pfeiffer	EN 1426	0,6
Point de Fraass (°C)	EN 12593	-19
Module complexe à 7,8 Hz	NF T 66-065	
Température à laquelle :		
G* = 4/3.10 ⁸ Pa (°C)		-7
G* = 10 ⁴ Pa (°C)		75
θ isodéphasage (°C)		30
Essai RTFOT (1h15 à 163 °C) :	EN 12607-1	
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)		29
Température bille-anneau (°C)		70,5
Accroissement TBA (°C)		7,5
Pénétration restante (%)		72,5
Module complexe à 7,8 Hz après RTFOT :	NF T 66-065	
Température à laquelle :		
G* = 4/3.10 ⁸ Pa (°C)		-6
G* = 10 ⁴ Pa (°C)		80
θ isodéphasage (°C)		32

Sur la base d'un compromis entre résistance à l'orniérage et macrotexture, évaluée par l'essai de hauteur de sable, la formule belge type SMA B1 0/14 a été retenue pour la couche de roulement en 5 cm. Cet enrobé répond aux caractéristiques de la table 4.

Table 4 - Caractéristiques de l'enrobé SMA B1 0/14

SMA B1 0/14	RESULTATS	REPERES
<u>Composition :</u>		
Teneur en bitume multigrade 35/50 (ppc)	7,0	
Module de richesse	4,1	
<u>Caractéristiques de l'enrobé :</u>		
• Essai PCG (NF P98-252)		
- compacité 10 girations (%)	87,2	≤ 91
- compacité 40 girations (%)	93,4	88-94
- compacité 50 girations (%)	94,9	
• Essai Duriez (NF P98251-1)		
- compacité (%)	96,0	
- résistance à l'écrasement (MPa)	8,0	
- rapport I/C	0,92	≥ 0,8
• Essai orniérage LPC (NF P98253-1)		
- ornière moyenne à 60°C à :		
3000 cycles (%)	7,5	≤ 15
10000 cycles (%)	9,3	
- compacité (%)	94,9	
• Essai orniérage belge (CME 54.18)		
- ornière moyenne à 35°C à :		
3.000 cycles (mm)	0,73	
10.000 cycles (mm)	1,29	
30.000 cycles (mm)	1,48	
100.000 cycles (mm)	1,82	≤ 1,95
• Macrotexture HSv (NF P98216-1) (mm)	1,8	

3.1.2 Réalisation du chantier et suivi après 3 ans de circulation

Fabriqués entre 170 et 180°C, les enrobés EME et SMA ont été mis en œuvre sans difficulté. Les teneurs en liants mesurées sur chantiers ont été en accord avec les formules théoriques. Les carottages ont montré que l'emploi d'un bitume 15/25 en assise permettait d'améliorer nettement les critères du test Marshall imposés dans les spécifications belges. Le SMA présente une macrotexture élevée, due à l'emploi de 60% de granulats 7/14, ce qui est en accord avec l'étude de laboratoire.

Après 3 ans, le relevé visuel de l'état de surface n'a noté :

- aucune fissure longitudinale ni transversale, aucun faïençage ni ouverture de joint,
- aucun arrachement ni présence de granulat libre sur les bas côtés,
- aucune ornière ni affaissement constaté.

Les relevés d'orniérage au transversoprofilomètre à ultrasons sur les voies d'accès à la station en direction de Bruxelles d'une part et de Mons d'autre part concluent à une ornière moyenne comprise entre 4 et 5 mm, ce qui est considéré comme négligeable par rapport aux chantiers réalisés antérieurement sur des stations-service en Belgique, où des ornières pouvant aller jusqu'à 20 mm après 3 ans avaient parfois été constatées.

3.2 Autres chantiers réalisés en Belgique (2000-2003)

Fort du succès du premier chantier de démonstration technique de la station-service de Nivelles, plusieurs autres chantiers ont été réalisés depuis 3 ans en Belgique avec le complexe enrobé au bitume dur en sous-couche et enrobé au bitume multigrade en couche de roulement. La table 5 ci-dessous rassemble ces références de chantiers.

Table 5 – Exemples de chantiers réalisés avec le complexe assise en bitume dur et revêtement en bitume multigrade

ANNEES	CHANTIERS	BITUMES
1999	Anvers/Schoten - Parking Usine de lubrifiants (6700 m ²)	assise : 8 cm AB-3A 0/20 à 4,5% bitume dur 10/20 (60 T, 6700 m ²) revêtement: 4 cm AB-4C 0/10 à 6% bitume multigrade 35/50 (40 T, 6.700 m ²)
1999	Quais du Port de Zeebrugge (zones de stockage et manutention de containers)	assise : 8 cm EME 0/14 avec 4,6% bitume dur 20/30 (9.500 m ²) revêtement : 6 cm BBSG 0/10 avec 5,7% bitume multigrade 35/50 (9.500 m ²)
2002 et 2003	Aire de Jabbeke - Station routière sur l'autoroute E40 Bruxelles-Ostende dans les deux sens	assise : 6 cm AB-3B 0/14 au bitume dur 10/20 (280 T, 37200 m ²) revêtement : 5 cm SMA C1 0/14 au bitume multigrade 35/50 (350 T, 41200 m ²)
2003	Aire de Minderhout - Station routière sur l'autoroute E19 Anvers-Breda	assise : 6 cm AB-3A 0/20 (1ère partie à 2,6% bitume dur 10/20 et 40% de recyclage puis 2ème partie à 4,5% bitume dur 10/20) (11 T, 2200 m ²) revêtement : 5 cm SMA C1 7/10 à 7% bitume multigrade 35/50 (45 T, 3800 m ²)

3.3 Gain économique grâce au couple bitume dur / bitume multigrade

Pour le concessionnaire de station-service, les types d'enrobés traditionnellement utilisés conduisaient à devoir réaliser la première opération de maintenance sur les voies d'accès des stations généralement dans les 3 ans suivant leur construction, ce qui générerait un coût relativement élevé de maintenance. L'innovation que constitue l'emploi d'un complexe au bitume dur en assise et au bitume multigrade en revêtement permet, tout en conservant tous les avantages des enrobés hydrocarbonés, à savoir confort, souplesse et sécurité, d'espérer raisonnablement repousser la première opération de maintenance à 7 ou 10 ans après la construction, soit un gain de 4 à 7 années. Aujourd'hui le

concessionnaire n'hésite plus à faire appel à ce concept innovant comme en témoigne les chantiers réalisés en 2002 et 2003 sur d'autres stations-services.

4 - CONCLUSION

On le voit au travers des exemples présentés dans cette publication, que ce soit lors des expérimentations sur le manège du LCPC en France ou des chantiers de construction de stations-services en Belgique, le complexe d'enrobés bitumineux alliant une sous-couche en bitume dur 10/20 ou 15/25 et une couche de roulement en bitume multigrade 35/50 permet d'atteindre des niveaux de performances particulièrement élevés. Sa rigidité à chaud permet à ce type de composition bitumineuse de diminuer d'un facteur 2 à 3 l'ornièrerie qui serait normalement observée sur une chaussée formulée avec des bitumes routiers standards, tout en conservant la souplesse suffisante à froid pour éviter une apparition trop précoce d'un phénomène de fissuration. Le concessionnaire, responsable de l'entretien, y gagnera en un allongement de la durée de vie de sa chaussée de plusieurs années et donc en économie de ses coûts de maintenance.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Association Française des Sociétés d'Autoroutes (ASFA) ainsi que les équipes du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Nantes (France) et de la Direction des Structures Routières de la Direction Générale des Autoroutes et des Routes (MET) à Nivelles (Belgique) pour leurs contributions à la réalisation et au suivi technique de ces chantiers.

REFERENCES

- (1) Corte, J-F. (1998) Emploi des liants bitumineux modifiés, des bitumes spéciaux et des bitumes avec additives en techniques routières. Séminaire international Bitumes Modifiés AIPCR, Rome 17-19/06/1998. Rapport final.
- (2) Corte, J-F. et al. (1998) Etude de l'ornièrerie des couches de roulement au manège d'essai du LCPC. Bull. Liaison P&C n°217, réf. 4214, pp.13-30
- (3) Gramsammer, J-C. et al. (1999) Ornièrerie d'enrobés à base de liants spéciaux sous l'action de roues simples et d'un tridem. RGRA n°777, pp.65-68
- (4) Jamois, D. ; Berger, J. ; Legreve, A. (2001) Expérimentation d'enrobés bitumineux à hautes performances pour couches d'assises et de roulement en construction neuve sur le site d'une station d'essence (E19-Nivelles). XIX^e Congrès Belge de la Route, Genval 12-14/09/2001