

Couches de roulement très minces et ultra-minces en matériaux bitumineux à chaud Bilan d'emploi et de comportement

Yves BROSSAUD

Chargé de recherche

Section Laboratoire des liants et matériaux routiers

Division Matériaux et structures de chaussées

Laboratoire central des Ponts et Chaussées, Centre de Nantes

Robert ABADIE

Chargé d'étude

Division Terrassement - chaussées

Centre d'études techniques de l'équipement de l'Ouest

Régis LEGONIN

Chargé d'étude

Division Exploitation, sécurité et gestion des infrastructures

Centre d'études techniques de l'équipement Normandie-centre

RÉSUMÉ

L'expérience acquise sur la technique des matériaux à chaud en couches très minces repose maintenant sur plus de dix années et plus de 110 millions de m² sur tous les types de réseaux. L'article actualise l'état des connaissances techniques sur ces revêtements. Il en précise le domaine d'emploi et les conditions particulières d'application. Un bilan des performances mesurées et de leurs évolutions dans le temps est donné. Le champ d'observation est indiqué en détail, ce qui permet de juger de la représentativité et de la portée des conclusions avancées. Des comparaisons avec les techniques concurrentes sont faites pour indiquer leurs particularités. Ces techniques opérationnelles sont maintenant maîtrisées. Elles constituent une solution durable tant pour la construction que pour l'entretien des chaussées, tout en conciliant d'excellentes propriétés d'adhérence et un niveau de confort élevé pour l'utilisateur (bruit de roulement faible pour les formulations 0/6).

MOTS CLÉS : 31 - Couche de roulement - Enrobé - Épaisseur - Utilisation - Enrobé chaud - Comportement - Bilan (Éval.) - Coût - Évolution - Adhérence (pneu route) - Bruit - /BBTM - Béton bitumineux très mince - BBUM - Béton bitumineux ultra-mince.

Généralités

Définition

Les techniques analysées dans cet article concernent l'application de matériaux bitumineux élaborés à chaud en centrale d'enrobage en couche de roulement de faible à très faible épaisseur. On distingue :

① les bétons bitumineux très minces (BBTM), dont la norme **NF P 98-137** complète la définition en précisant l'épaisseur moyenne de mise en œuvre : 20 à 25 mm (avec un minimum absolu de 15 mm en tout point). Compte tenu des valeurs courantes de compacité obtenues avec ce matériau (85 à 90 % pour le type 1 le plus répandu), les dosages moyens s'inscrivent dans la fourchette de 40 à 60 kg/m² pour des masses volumiques courantes de granulats ;

② la technique des bétons bitumineux ultra-minces (BBUM), qui n'est pas normalisée. Sa définition doit tenir compte des concepts et procédés nouveaux qui se sont développés sous ce vocable. En général, ceux-ci visent la réalisation d'un revêtement associant :

– une couche de liant « d'imperméabilisation/liaison », nettement plus épaisse qu'une simple couche d'accrochage,

– un enrobé à chaud fabriqué en centrale et appliqué en épaisseur de type monogranulaire, c'est-à-dire avec des dosages moyens compris entre 25 et 35 kg/m² selon la granularité.

Par ailleurs, le Guide d'application des normes pour le réseau routier national [2] rapproche BBTM et BBUM en demandant pour les BBUM de « s'inspirer des prescriptions et spécifications données dans le document relatif aux BBTM » ;

③ une série de produits :

- enrobés à granularité fine,
- enrobés applicables en épaisseur faible, mais variable,
- produits et procédés expérimentaux visant à réduire le bruit de roulement,

dont les caractéristiques en font des revêtements à vocation urbaine pouvant constituer une troisième catégorie à part entière.

Domaine d'emploi

Il est très proche pour les deux techniques BBTM et BBUM, mises au point et développées pour améliorer les caractéristiques de surface et/ou régénérer l'intégrité d'une couche de roulement d'une chaussée en bon état structural et non déformée (la norme BBTM précise : « ..déformations permanentes inférieures ou égales à 1 cm sous la règle de 3 m... »).

En plus du domaine privilégié de l'entretien des chaussées, ces deux techniques sont aussi utilisées en construction neuve et en renforcement pour mieux dissocier les fonctions entre couches de roulement et assise ; on concentre sur une couche très mince les propriétés nécessaires à l'obtention de caractéristiques de surface élevées (les BBTM sont plus employés que les BBUM dans ce contexte).

Les spécificités du milieu urbain ont amené l'identification d'une catégorie adaptée de revêtements.

Développement des techniques

Classification des produits utilisés (tableau I)

□ Les classes de BBTM sont définies par la norme NF P 98-137. Celle-ci distingue :

- le type 1 ou 2 par le pourcentage de vides plus ou moins important obtenu à l'essai à la presse à cisaillement giratoire à 25 girations (type 1 : 6 à 17 % de vides, type 2 : 18 à 25 % de vides) ;
- la granularité 0/6, 0/10 et 0/14 et la discontinuité (qui existe très souvent) ;
- la nature du liant utilisé : pur ou modifié (ou avec ajout de fibres), qui se décline aussi sous l'appellation courante de formulations dites « administration » ou « entreprise ».

Les formulations les plus utilisées sont des BBTM de type 1 de granularité 0/10 discontinue

2/6 et, à un degré moindre, les 0/6 discontinus 2/4.

Les BBTM de type 2 s'apparentent par leur texture très ouverte à des enrobés drainants en couche très mince : leur emploi reste encore très limité. Ils sont principalement fabriqués avec des liants modifiés par des polymères.

□ Les BBUM sont exclusivement des produits ou procédés d'entreprises qui se distinguent par :

- leur granularité 0/6, 0/8 ou 0/10 (les 0/14 sont abandonnés) et leur discontinuité (souvent 2/4 ou 2/6) ;
- la nature du liant de l'enrobé et de la couche d'« imperméabilisation/liaison » ;
- le procédé de mise en œuvre utilisé : matériel spécifique, finisseur à rampe intégrée, atelier classique.

□ Les revêtements innovants pour le milieu urbain et/ou pour réduire les bruits de roulement. Depuis deux à trois ans, des recherches et des expérimentations sont réalisées par les entreprises pour mettre au point des revêtements bitumineux mieux adaptés aux variations d'épaisseurs (1 à 4 cm) par amélioration de la maniabilité et permettant de réduire durablement les bruits de roulement par l'emploi de fines granularités. Ces techniques sont bien souvent dérivées des BBTM par leur épaisseur moyenne et surtout par les compositions employées (souvent 0/6 discontinus 2/4).

Les particularités proviennent :

- soit de modifications de la composition par l'utilisation de liants spéciaux (par exemple, bitume caoutchouc) ou de granulats spéciaux ou artificiels présentant une structure microporeuse (par exemple, granulats poreux pour le MICROVILLE) ou ayant une consistance élastique (par exemple, incorporation de poudrette de caoutchouc en remplacement d'une partie du sable pour le COLSOFT ou le CITYCHAPE) ou par une diminution du dosage en sable (formule BBTM type 2 ou intermédiaire entre BBTM de type 2 et un enrobé drainant 0/6) ;

- soit de l'association de deux couches tel que enrobé coulé à froid + BBTM ou sable enrobé + BBTM (cas du MINIPHONE, par exemple).

Il n'existe pas de classification pour ces nouveaux procédés, qui sont en phase de qualification sur le plan des performances et de leur comportement dans le temps.

Cet article présente essentiellement les résultats recueillis sur les BBTM et BBUM, pour lesquels de nombreuses informations sont disponibles avec un recul suffisant.

TABLEAU I

Liste des produits et procédés des principales entreprises routières nationales (validité : août 1996)
(se reporter au fascicule du SETRA « Marques et procédés d'entreprises à base de liant hydrocarboné »
mai 94 - pour connaître certaines dénominations régionales)

	SCREG	VIAFRANCE	CBC	COLAS	SACER	SCR	GERLAND	BEUGNET	EJL
BBTM	Médiflex Microlastic	Microvia (0/6) Rugovla (0/10)	Fibracco TM Styracco TM	Ruflex TM	Microlith	Tapiflex	Microflex	Microchape FE Microprène Fibrochape TM	ULM
BBUM	Euroduit	Enrovla	Accoduit	Colrug	Microduit	Ultraflex	Ultrager	Granuchape	Estère
Revêtement à vocation urbaine	Microville	(Microvia)	Accoville	Colsoft	Miniphone (1,2 ou S)	Tapiphone	Microphone	Novochape Citychape	(Accrophone)

– **produit** : avis technique en cours de validité.
– **produit** : avis technique en cours de renouvellement.
– (produit) : pas d'appellation particulière pour le milieu urbain.

Remarques :
1- les avis techniques sur les BBTM concernent ceux de type 1.
2- les produits MICROVIA et MICROCHAPE ont eu un avis technique (délai de validité dépassé).
3- l'avis technique n° 88 concerne le Practiplast M40, liant pour BBUM, appliqué sous les appellations : EPSIFOL, ROUGEOTPLAST, TRABPLAST, UR M (annexes A/D).

Aspects quantitatifs

L'importance des réalisations, leur évolution et leur répartition selon les différents réseaux ont pu être évaluées au travers d'enquêtes et de sondages. La figure 1 fournit les surfaces annuelles appliquées en France sur la période 1989 à 1994.

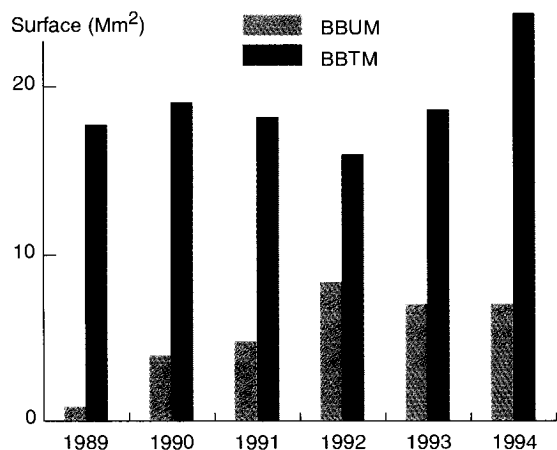


Fig. 1 - Évolution en France des surfaces annuelles de BBTM et BBUM (estimation à 10/15 % près).

Depuis les premiers chantiers réalisés en 1983-1984, c'est au total plus de 110 millions de mètres carrés de BBTM qui ont été appliqués en dix ans, avec près de 90 millions au cours de ces sept dernières années. Pour les BBUM, le démarrage des applications se situe en 1989.

À l'heure actuelle, l'ordre de grandeur de la répartition des surfaces appliquées annuellement selon les divers types de réseaux est indiqué dans le tableau II.

TABLEAU II
Répartition des surfaces de BBTM et BBUM
sur les principaux réseaux

Réseaux	BBTM	BBUM
Autoroutes concédées	40 %	10 %
Réseau routier national	25 %	10 %
Routes départementales	25 %	75 %
Voiries communales	10 %	5 %

Réseau autoroutier concédé [3]

Après une période de montée en puissance (de 0,1 à 4 millions de mètres carrés) entre 1984 et 1989, les réalisations de BBTM ont depuis atteint un rythme régulier de 6 à 8 millions de mètres carrés par an. Aujourd'hui, environ un tiers de la surface totale du réseau concédé est recouvert de BBTM. La tendance actuelle est à l'emploi généralisé des formules d'entreprises avec liant modifié.

Pour les BBUM, après quelques premiers chantiers réalisés en 1990, le développement reste encore très limité (total cumulé de 0,8 million de mètres carrés à fin 1993), et l'on ne constate pas d'évolution significative ces deux dernières années.

Réseau routier national [4]

Les évolutions constatées au cours des dernières années sont assez peu marquées : les surfaces se situent entre 4 et 5 millions de mètres carrés par an pour les BBTM et de 0,5 million de mètres

carrés par an pour les BBUM. Ces chiffres représentent respectivement en moyenne 21 % et 2 % des surfaces totales entretenues chaque année (entre 1989 et 1992) (fig. 2).

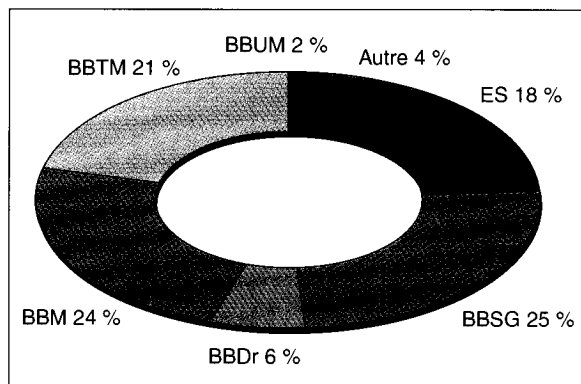


Fig. 2 - Répartition des techniques d'entretien de surface sur RN sur la période 1989/1992.

Pour les BBTM, la proportion de formules au bitume pur est de l'ordre de 40 à 50 % ; ce chiffre est en augmentation significative par rapport aux premières réalisations (seulement 10 % en 1987). Pour les BBUM, la proportion de BBUM au bitume pur se situerait aussi aux alentours de 40 %.

Routes départementales

Les routes départementales de première catégorie présentant une structure renforcée et une bonne géométrie constituent le principal domaine d'emploi de la technique des BBUM (de l'ordre de 6 millions de mètres carrés par an). Un tiers des départements a pleinement intégré cette technique dans les marchés de renouvellement de couche de surface, en remplacement le plus souvent d'enduits superficiels et parfois d'enrobés coulés à froid (ECF) ; on y enregistre des campagnes annuelles de 200 à 500 000 mètres carrés.

Les BBTM sont moins utilisés. On estime leurs applications à près de 3,5 millions de mètres carrés, sur les routes bien calibrées, en bon état structurel et supportant un trafic important. Les formulations les plus utilisées sont essentiellement des formulations d'entreprises.

Voiries communales

En milieu urbain, le recueil des données quantitatives se heurte à deux problèmes :

- la codification des techniques : sous le vocable « couche très mince », on désigne généralement une épaisseur moyenne de 3 cm (on couvre ainsi toute la gamme des bétons bitumineux minces (BBM), BBTM et parfois même BBUM),
- l'absence de données globales couvrant tout le secteur urbain.

On peut, cependant, dégager les tendances actuelles suivantes :

- la technique du BBTM « épais » (50 à 80 kg/m²) avec des formulations d'entreprise tend à se développer dans le cadre de marchés généraux d'entretien ;
- quelques réalisations expérimentales de BBUM (il semble que le contexte urbain ne soit pas bien adapté à cette technique) ;
- quelques expérimentations de techniques urbaines peu bruyantes.

Situation à l'étranger

Depuis ces trois à quatre dernières années, ces techniques se sont très bien exportées hors de l'hexagone où elles commencent à connaître un très vif succès, comme l'indique l'histogramme de l'évolution des surfaces annuelles (fig. 3), issu de l'enquête auprès des entreprises routières nationales.

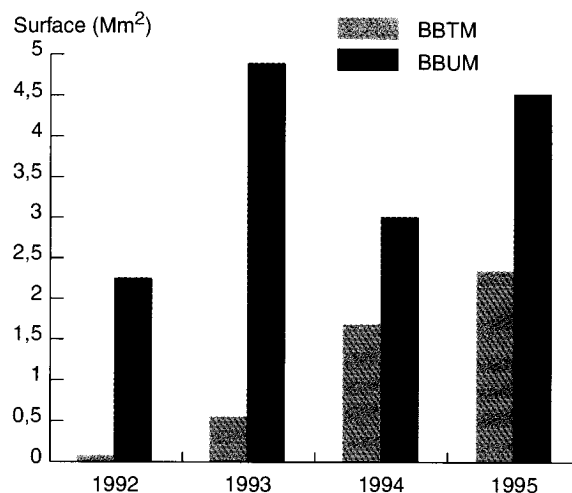


Fig. 3 - Évolution des surfaces annuelles de BBTM et BBUM, à l'étranger pour les quatre dernières années.

On dénombre plus d'une quinzaine de millions de mètres carrés de BBUM à l'étranger, soit près de 45 % de la totalité des surfaces appliquées en France. Le procédé le plus répandu est le NOVACHIP (EURODUIT appliqué avec la machine spécifique) avec 95 % des réalisations, mais une diversification des produits commence à apparaître. Il est à noter également l'exportation de quatre machines spécialisées pour l'application de ces BBUM. De même, des contrats de transfert de technologie sont signés avec de nombreuses entreprises étrangères pour faciliter l'exportation de cette technique BBUM, mais également pour les BBTM.

Non seulement l'Europe, mais également le continent américain (États-Unis - Canada) et même l'Australie ont été séduits par cette technique qui permet des rendements très élevés avec une qualité de fini et une durabilité très

satisfaisantes. On note une très forte croissance des réalisations aux États-Unis, en Australie et dans les pays nordiques (fig. 4).

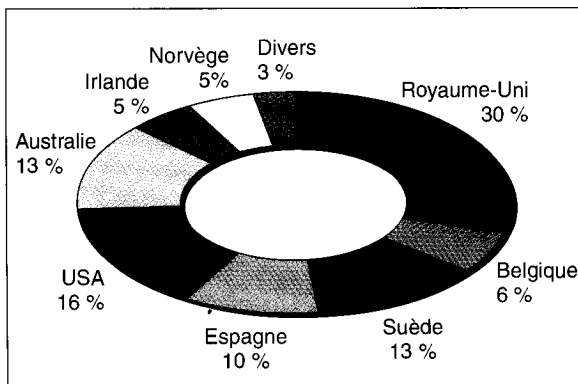


Fig. 4 - Répartition des applications de BBUM à l'étranger.

Les BBTM commencent aussi à se développer dans les pays limitrophes à la France (Grande-Bretagne, Suisse, Belgique, Italie, Espagne) et l'on compte près de 5 millions de mètres carrés de surfaces appliquées. Les surfaces augmentent dans une forte proportion dans les pays de l'Europe de l'Est, mais également en Grande-Bretagne et en Belgique (fig. 5).

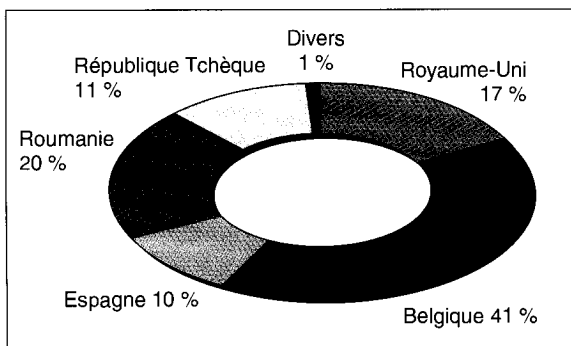


Fig. 5 - Répartition des surfaces de BBTM à l'étranger.

En matière de réglementation, on voit apparaître des spécifications en Suisse et en Grande-Bretagne sur les BBTM, et des recommandations sont proposées pour leur utilisation sur routes à fort trafic.

La technique des BBTM est maintenant bien reconnue au plan européen comme technique spécifique des enrobés. En effet, la commission de normalisation européenne vient d'accepter la création d'une septième famille de norme d'enrobés : les BBTM, en complément des normes existantes sur les bétons bitumineux et les Splits Mastic Asphalt, SMA (formulation d'origine allemande qui se différencie des BBTM par des compositions beaucoup plus riches en mastic et appliquée en couche d'épaisseur de 2 à 5 cm).

Coût des techniques

Comme pour d'autres techniques, le niveau des prix de vente constatés pour les BBTM et BBUM est tributaire des caractéristiques du chantier (taille, site, contraintes particulières, etc.) et de l'environnement économique (disponibilités en constituants, situation de la concurrence, etc.) propres à chaque réalisation. Au niveau national, il est donc nécessaire d'associer à la moyenne des coûts pratiqués sur la période 1992/1994 des fourchettes assez larges.

Pour des chantiers d'entretien couramment rencontrés sur le réseau routier national (surfaces comprises entre 20 000 et 80 000 m²), on obtient les coûts indiqués dans le tableau III.

TABLEAU III

Produits	Coût en F/m ² (HT)	
	Moyenne	Variation
BBUM	15,50	11 à 20
BBTM « bitume pur »	17	12 à 22
BBTM « liant modifié »	20	14 à 26

Par rapport aux valeurs moyennes :

□ le **contexte autoroutier** (grands chantiers) conduit à une légère baisse (1 à 2 F/m² en moins),

□ le **contexte « petits chantiers »** (sur routes nationales ou départementales) peut conduire à des hausses sensibles, en particulier pour les BBUM et les BBTM avec liants modifiés (2 à 4 F/m² en plus),

□ **dans le contexte urbain**, les quelques éléments de prix recueillis font apparaître des coûts nettement supérieurs. Ces techniques dites très minces se situent entre 40 et 60 F/m² HT. Ces prix de revient incluent bien évidemment diverses contraintes spécifiques : épaisseur variable pouvant atteindre 3 à 4 cm, travaux préparatoires et annexes conséquents, rendements faibles, chantiers de petite taille, travaux de nuit, etc.

Sur la période d'observation, on constate une certaine stabilité des coûts moyens ; en revanche, la dispersion semble augmenter en 1994, en particulier pour les BBTM avec liant modifié.

La figure 6 visualise les prix pratiqués sur les chantiers courants d'entretien sur routes nationales, tout en les situant par rapport à d'autres techniques concurrentes de renouvellement de surface.

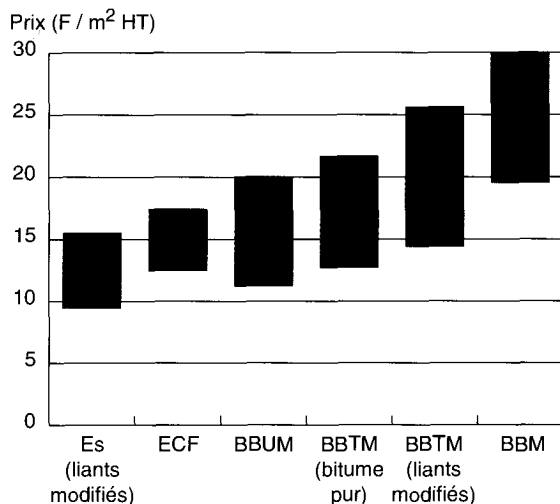


Fig. 6 - Comparaison du coût des techniques de surface de chaussées en épaisseur réduite.

On constate :

- le niveau intermédiaire des prix des enrobés très minces et ultra-minces par rapport à ceux des enduits superficiels et des enrobés minces,
- le recouvrement assez important des fourchettes relatives aux BBTM « liants modifiés » et aux BBM « bitume pur ».

Formulation - Fabrication - Mise en œuvre

Formulation

Comme les BBTM ont été, à l'origine, une adaptation des formules connues en BBM par augmentation de la teneur en liant (+ 0,2 à 0,5 % en fonction décroissante du trafic), les BBUM sont des formulations dérivées des BBTM par une diminution de la quantité de sable (environ - 5 à - 15 %).

Avec l'emploi des liants modifiés, les formulations de BBTM sont devenues le plus souvent discontinues, avec une baisse significative des proportions de sable (dosage moyen entre 20 et 28 % au lieu de 30 à 35 % à l'origine). Cette évolution concerne aussi les formules au bitume pur, qui restent cependant un peu plus « sableuses » (+ 5 à + 12 % de sable) et moins riches en liant (- 0,2 à - 0,4 % de liant).

Compte tenu de leur épaisseur, l'étude de formulation de ces matériaux définie dans la norme BBTM a seulement pour but :

- de préciser le type de BBTM par un essai à la presse à cisaillement giratoire (PCG),
- d'évaluer la résistance au désenrobage par l'eau (essai Duriez),
- d'apprécier l'évolution de la macrotexture par un essai de simulation à l'ornièr.

Il n'existe pas de document de référence pour l'étude de la composition des BBUM ; toutefois, pour caractériser les formules, des essais à la PCG et Duriez peuvent apparaître utiles.

Les formulations les plus couramment employées sont des 0/10 discontinus 2/6 et, dans une moindre proportion, des 0/6 discontinus 2/4 (environ 5 à 10 % des réalisations, mais cette proportion tend à augmenter). Les compositions « type » (valeurs en %) sont données par le tableau IV.

TABLEAU IV
Perte d'épaisseur

		BBTM		BBUM
		type 1	type 2	
6/10 ou 4/6	(%)	70 - 80	75 - 88	75 - 88
0/2	(%)	20 - 27	10 - 22	15 - 22
finés totales	(%)	7 - 9	4 - 5	4 - 8
teneur en bitume : 0/6	(%)	6,2 - 6,7	5,0 - 5,5	5,8 - 6,4
	0/10 (%)	5,7 - 6,2	4,5 - 5,5	5,0 - 5,8

Remarques

- les teneurs en liant peuvent être légèrement supérieures à la fourchette donnée dans le tableau IV avec l'emploi de liants modifiés (+ 0,1 à + 0,3 %) ou avec l'ajout de fibres minérales ou organiques (dosage en fibres : 0,2 à 0,4 %),

- les classes de bitume pur les plus utilisées sont : 50/70 et 70/100, quelquefois 35/50 pour les BBTM lorsque le trafic est plus important (mais, dans ce cas, on a le plus souvent recours à des liants modifiés par des polymères ou à l'incorporation de fibres).

□ Les formulations 0/14 :

- ne se sont jamais développées pour les BBUM (texture trop grenue plus sensible à l'arrachement et surtout niveau de bruit élevé et dosage plus important) ;

- sont de moins en moins employées pour les BBTM. Mises au point dans l'Est de la France, elles présentent une double discontinuité (2/4 et 6/10) permettant l'emploi des fractions un peu « délaissées » par les techniques routières. Ces compositions s'avèrent plus sensibles aux effets de ségrégation, et au lissage dans les bandes de roulement.

□ Les formulations 0/10 « continues » :

Quelques formulations de BBTM 0/10 de granularité continue existent. Elles présentent l'avantage d'utiliser les classes granulaires intermédiaires délaissées en technique routière. Leur emploi reste encore limité. Pour évaluer précisé-

ment leur intérêt, des expérimentations [5] ont été réalisées depuis deux à trois ans. Les premiers résultats obtenus sur ces planches sont assez encourageants sur le plan des caractéristiques de surface (texture exprimée en hauteur au sable, HS = 0,9 mm et bonne adhérence).

Fabrication

Il n'existe pas de particularité dans la fabrication des BBTM et BBUM. Comme pour les enrobés à faible dosage en sable présentant une discontinuité et des liants modifiés, les principaux points à respecter sont :

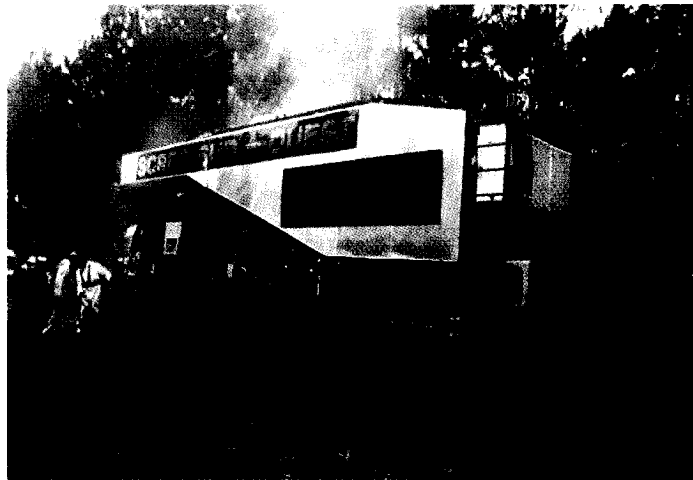
- les températures de chauffage des granulats (éviter toute surchauffe),
- la régularité des coupures d et D des fractions granulaires pour obtenir une discontinuité bien marquée, gage d'une bonne régularité de la macrotecture (notamment pour les 0/6),
- les conditions de stockage, dosage et conservation des liants modifiés.

Conditions de mise en œuvre

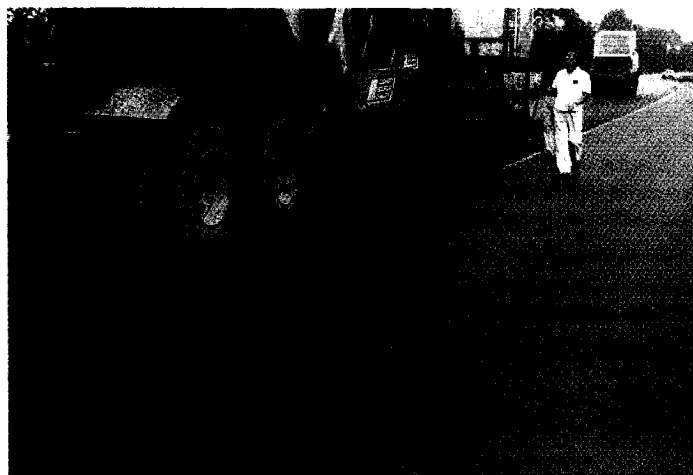
L'application des BBTM s'effectue avec un matériel traditionnel : le finisseur réglé en mode « vis calées » est précédé par une répandeuse de liant réalisant la couche d'accrochage. Pour les chantiers importants (notamment sur autoroutes et voies express), l'application s'effectue en grande largeur (un finisseur grande largeur ou deux finisseurs en parallèle) et l'usage de finisseurs équipés de rampe intégrée commence à apparaître. Les joints exécutés à froid se comportent cependant assez bien dans le temps.

Pour le choix de la nature et du dosage du liant de la couche d'accrochage, le guide d'application des normes pour le réseau national recommande l'emploi d'une émulsion modifiée pour des trafics supérieurs ou égaux à T1, au dosage minimal de 400 g/m^2 de liant résiduel. Ceci reste, pour l'instant, une pratique exceptionnelle : les réalisations courantes jusqu'à ce jour (300 à 400 g/m^2 de bitume résiduel à partir d'une émulsion de bitume pur) n'ont posé aucun problème d'accrochage, quels que soient le site et le trafic.

À l'origine, la technique des BBUM consistait à appliquer à grande cadence (vitesse $\geq 15 \text{ m/mm}$) simultanément la couche « d'imperméabilisation/liaison » selon un fort dosage (600 à 800 g/m^2 de liant résiduel) et l'enrobé à chaud en épaisseur quasi monogranulaire (25 à 35 kg/m^2). Des matériels spécifiques ont alors été spécialement conçus pour réaliser ces diverses opérations (machines EURODUIT, ENROVIA, GRANUCHAPE, ESTERE). Puis des finisseurs ont été équipés de rampe de dosage en liant et de dispositif de stockage pour la réalisation de ces



Machine spécifique d'application d'un BBUM en rase campagne.



Réalisation d'un BBUM avec un finisseur à rampe intégrée, compactage au cylindre lisse, remise en circulation rapide.

BBUM. Enfin, depuis deux à trois ans, des matériels traditionnels sont aussi largement utilisés. Dans ce dernier cas, des précautions toutes particulières doivent être prises, notamment par forte chaleur, pour garantir l'intégrité de la couche d'« imperméabilisation/liaison » et éviter les salissures. Parmi celles-ci, on note :

- la réduction des dosages,
- le gravillonnage « clairsemé » du liant (à raison de 2 à 3 l/m^2),
- la recherche de liants spéciaux n'adhérant pas aux roues des camions ou du finisseur (les toutes premières expériences d'application de couche d'accrochage avec ces produits s'avèrent encourageantes).

Par ailleurs, des surdosages significatifs d'enrobés sont assez souvent associés à l'utilisation des matériels classiques. En fait, on aboutit alors à l'application d'un produit s'apparentant à la technique BBTM.

Dans l'esprit du concept originel de la technique BBUM, l'utilisation d'émulsion de bitume

modifié est quasi systématique (sauf dans le cas de chantiers à faible trafic - inférieur à T2 -) pour améliorer les performances de la couche d'« imperméabilisation/liaison ».

L'emploi de matériels spécifiques pour l'application des BBUM donne satisfaction. Ils autorisent des rendements élevés pouvant atteindre 30 à 35 000 m²/j (à titre de comparaison, les rendements sur voies express sont de 20 à 30 000 m²/j avec des BBTM) ainsi qu'une bonne maîtrise de la qualité des applications (homogénéité de la texture, respect et régularité des dosages, propreté du chantier).

La principale critique sur l'emploi des dispositifs de répandage intégré de la couche de liant concerne la réalisation en « aveugle » de cette couche. Mais, depuis un à deux ans, des dispositifs de nettoyage, d'obturation et de contrôle des jets commencent à être installés pour mieux maîtriser les régularités transversales et longitudinales. En outre, ces matériels sont coûteux et leur entretien s'avère quelque peu contraignant.

Le compactage des BBTM et BBUM est réalisé au plus près du finisseur (refroidissement très rapide de la couche) au moyen de compacteurs à jantes lisses en mode statique à raison de quelques passes (quatre à huit passes). La remise en circulation intervient rapidement (moins d'une heure en général).

Performances obtenues et évolution dans le temps

Pour caractériser le comportement de ces techniques très minces et ultra-minces de couche de roulement, il apparaît judicieux de prendre en compte des critères relatifs :

– d'une part, à l'aspect et à l'intégrité de la surface (homogénéité et dégradations du type

arrachements, remontée de liant et fluage),
– d'autre part, aux caractéristiques concernant la sécurité et le confort des usagers (rugosité géométrique, adhérence, uni et bruit).

Selon les familles de produits, les observations faites ne portent pas sur les mêmes échantillons (en nombre et en recul). Il y a lieu de distinguer :

• **les BBTM de type 1 et les BBUM.** Pour ces deux familles, les observations faites sont maintenant significatives :

– recul atteignant cinq ans (BBUM) et dix ans (BBTM),
– échantillons importants et bien représentatifs de la diversité des chantiers (taille, site, zone géographique, trafic, formulation).

En particulier, on peut analyser, d'une part, l'incidence du liant (bitume pur ou modifié) sur les BBTM 0/10 et, d'autre part, les spécificités des fines granularités (0/6) pour les BBTM et BBUM ;

• **les BBTM de type 2.** Le recul plus faible et les échantillons moins fournis n'autorisent à donner que des tendances ;

• **les revêtements à vocation urbaine.** Ils sont en cours d'évaluation et il est encore trop tôt pour en faire une synthèse, d'autant que les informations restent souvent confidentielles durant cette phase de mise au point.

La synthèse sur le comportement et les performances repose sur le suivi de très nombreux chantiers réalisés dans le cadre d'expérimentations, de chantiers comparatifs (par exemple, N157, N6, D51), mais aussi de chantiers courants d'entretien. Les principales caractéristiques des populations observées sont présentées au tableau V.

TABLEAU V
Caractéristiques des chantiers ayant fait l'objet d'un suivi

Techniques	Chantiers						Recul (ans)	
	Nbre	Surfaces (m ²)		Trafics			Moyen	Mini/Maxi
		totales	mini/maxi	forts (≥ T ₀ /T ₁)	moyens (T ₂ /T ₃)	faibles ou urbains		
BBTM 0/10-0/14 type 1 formules « liant modifié »	30	460 000	1 000/86 000	20	5	5	7	5 à 10
formules « bitume pur »	24	650 000	4 000/85 000	22	2	-	7	1 à 9
BBTM 0/6 type 1	24	430 000	1 500/50 000	10	9	5	3	1 à 9
BBTM type 2	10	270 000	1 500/80 000	8	2	-	4	1 à 7
BBUM 0/10	44	1 100 000	1 500/110 000	29	11	4	5	4 à 7
BBUM 0/6	29	670 000	2 000/60 000	14	8	7	2	1 à 5

Caractéristiques spécifiques des principales familles

BBTM 0/10 et 0/14 de type 1

Formules avec liants modifiés et/ou ajouts de fibres

Les principes de formulation les plus couramment retenus par les laboratoires d'entreprise pour cette gamme (à savoir, formules 0/10 fortement discontinues, grenues et enrichies en mastic) conduisent à des revêtements :

- d'aspect très homogène,
- de bonne texture (hauteur au sable vraie de l'ordre de 1 à 1,3 mm),
- d'excellentes caractéristiques d'adhérence (courbes de coefficient de frottement longitudinal à la remorque de glissance ADHERA : CFL dans le haut du fuseau national et même au dessus pour les vitesses élevées).

Ces caractéristiques initiales (fig. 7 et fig. 8) très élevées sont globalement conservées dans le temps (pour une durée de cinq à sept ans et un trafic T_0) : on peut donc affirmer être en présence d'une technique au moins aussi durable qu'un BBSG ou un BBM classique, tout en offrant pendant toute sa durée de vie de meilleures conditions d'adhérence sur itinéraires circulés à vitesse rapide. Les rares exceptions à ce constat général correspondent :

- soit à de mauvaises conditions d'exécution (en particulier, chantiers réalisés en arrière saison),
- soit à des sites particulièrement agressifs (abords de feux sur itinéraires à fort trafic).

Il n'est pas mis en évidence de différences sensibles entre formules à base de liants modifiés et formules avec ajouts de fibres. Quelques formulations 0/10 continues offrent des caractéristiques équivalentes en durabilité et en adhérence avec une rugosité géométrique un peu moins élevée.

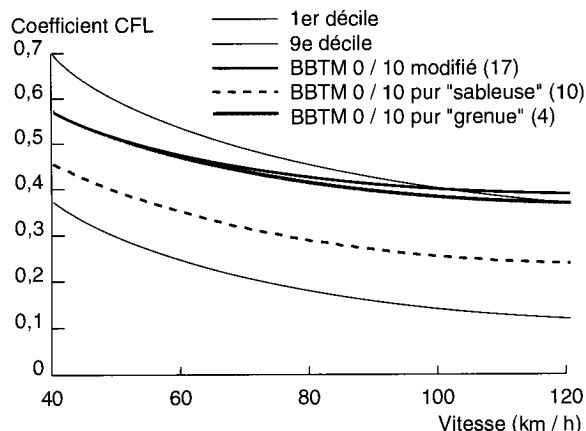


Fig. 7 - Adhérence au jeune âge (moins d'un an) des BBTM 0/10 ; influence du liant modifié, comparaison par rapport au bitume pur de composition « sableuse » et « grenue ».

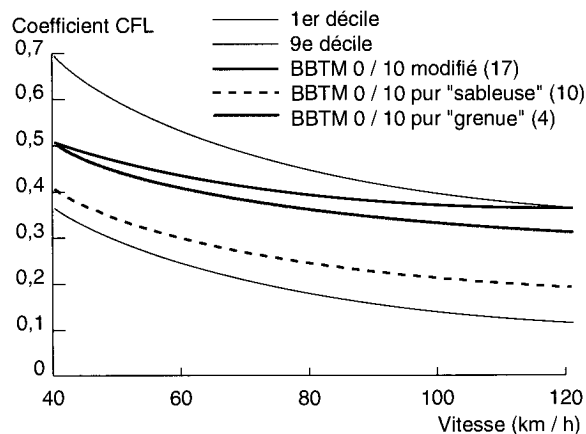


Fig. 8 - Adhérence après cinq années de service (soit 1 à 3 millions de poids lourds) des BBTM 0/10 ; influence du liant modifié, comparaison par rapport au bitume pur de composition « sableuse » et « grenue ».

Commentaire

Les familles sont représentées par la courbe moyenne, l'évolution concerne les mêmes sites, d'où un échantillon plus réduit, mais en contrepartie des informations sur le comportement plus fidèles.

Formules au bitume pur

L'analyse détaillée de l'échantillon correspondant permet de constater une évolution très nette des principes de formulation sur la période 1985/1995 :

- les premières formules mises au point en 1985/1986 par les laboratoires de l'Administration furent des 0/10 ou 0/14 fortement ou faiblement discontinus, mais dont la caractéristique commune était un fort pourcentage de sable (passant à 2 mm souvent supérieur à 35 %) et un bitume plutôt mou (un tiers des réalisations en 70/100),
- à partir de 1989/1990, les courbes granulométriques se rapprochent de celles utilisées avec les liants modifiés et l'emploi de bitumes purs plus durs (50/70 voire 35/50) se généralise.

L'examen du comportement des BBTM au bitume pur ne peut être fait sans prise en compte de cette évolution.

□ Pour les formulations « sableuses », on constate :

- des caractéristiques de surface initiales assez voisines de celles d'un BBSG classique,
- une évolution rapide dans le temps dès que les sollicitations sont significatives (trafic lourd de classe T1, T0 et *a fortiori* > T0, zones singulières, etc.), se traduisant par une fermeture de la surface dans les bandes de roulement (accompagnée souvent d'un léger fluage), une macrotexture médiocre et des courbes CFL s'inscrivant plutôt dans le bas du fuseau national (fig. 7 et fig. 8).

□ Pour les formulations récentes plus gre-
nues, on remarque :

- que les performances initiales sont du même ordre de grandeur que celles des BBTM à liant modifié,
- avec un recul encore faible (cinq ans au mieux) et un échantillon encore restreint, que l'évolution sous trafic apparaît prometteuse (fig. 8) : seules les applications sous trafic très agressif (classe > T0) voient leurs caractéristiques initiales baisser (mais dans une proportion moindre qu'avec les formules précédentes).

*Propositions sur les domaines d'emploi
« bitumes purs / bitumes modifiés »*

Dans un souci à la fois de simplification et de prudence, le Guide d'application des normes sur routes nationales recommande l'emploi de formules avec liants modifiés (ou ajouts de fibres) pour les niveaux de sollicitations dites « élevées » et les zones singulières. Il semble cependant que, lorsque l'on se situe dans la moitié basse de la classe de trafic correspondante (T0 pour les climats océaniques et continentaux, T1 pour le climat méridional), le risque pris par l'utilisateur de formules au bitume pur est assez faible, moyennant le respect des principes synthétisés dans le tableau VI.

TABLEAU VI

classe de trafic	T1 et T0 faible
formule	0/10 discontinu 2/6
passant à 0,08 mm	≤ 8 %
passant à 2 mm	≤ 28 %
classe de bitume	50/70 (voire 35/50)
teneur en bitume	de l'ordre de 5,8 %
fabrication	respect strict des dosages

Ainsi, à l'échelle d'un réseau, on peut envisager que ce risque puisse être compensé par des gains économiques notables (prix de revient plus faibles, élargissement de la concurrence aux entreprises régionales ou locales).

BBUM 0/10

Caractéristiques initiales

Après les problèmes inhérents à la phase de mise au point opérationnelle d'une technique, la maîtrise de l'homogénéité de la mise en œuvre des BBUM est aujourd'hui meilleure. Cependant, la sensibilité de la technique aux déformations du support et surtout à la période de mise en œuvre entraîne certaines hétérogénéités de l'aspect visuel immédiat : c'est ainsi que la proportion de chantiers à comportement « médiocre » passe de 30 % pour les réalisations avant

fin septembre à 80 % pour les chantiers réalisés après le 1^{er} octobre.

Par ailleurs, en particulier lors de l'utilisation de matériels classiques pour la mise en œuvre, l'homogénéité immédiate obtenue s'accompagne souvent d'un surdosage au mètre carré d'enrobés : il est assez fréquent de constater des bilans de chantiers atteignant (voire dépassant) 40 kg/m², qui apparentent ces réalisations plutôt à des BBTM.

Parmi les autres caractéristiques initiales des BBUM 0/10, il faut mentionner :

- le niveau élevé de macrotecture : valeurs de hauteur au sable couramment comprises entre 1,3 et 1,8 mm (avec cependant des dispersions notables). Celui-ci engendre une drainabilité horizontale intéressante par temps de pluie,
- des résultats de mesures CFL faiblement influencés par l'accroissement de la vitesse (fig. 9). Ceci conduit à des valeurs élevées d'adhérence aux vitesses supérieures ou égales à 90 km/h (égales ou supérieures à celles obtenues sur les BBTM).

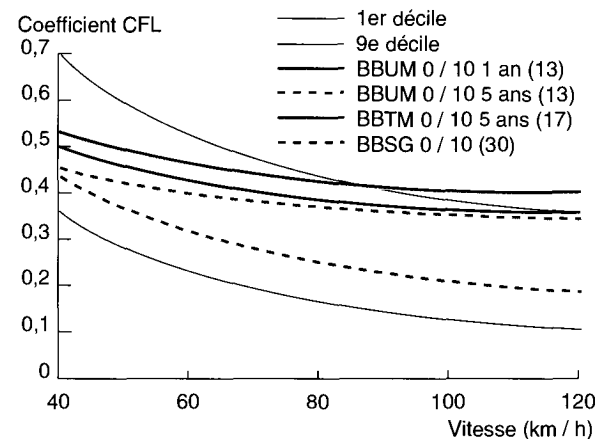


Fig. 9 - Évolution de l'adhérence des BBUM 0/10 entre un et cinq ans d'âge, comparaison avec les BBTM 0/10 et BBSG 0/10 (famille d'enrobés la plus répandue, ayant supporté un trafic cumulé compris entre 2 et 5 millions de poids lourds).

Évolution dans le temps

Contrairement aux BBTM avec liants modifiés, la proportion de chantiers présentant une évolution de l'aspect de surface après quelques années de trafic n'est pas négligeable : sur l'échantillon considéré, elle atteint 30 à 40 %. Les dégradations mentionnées sont :

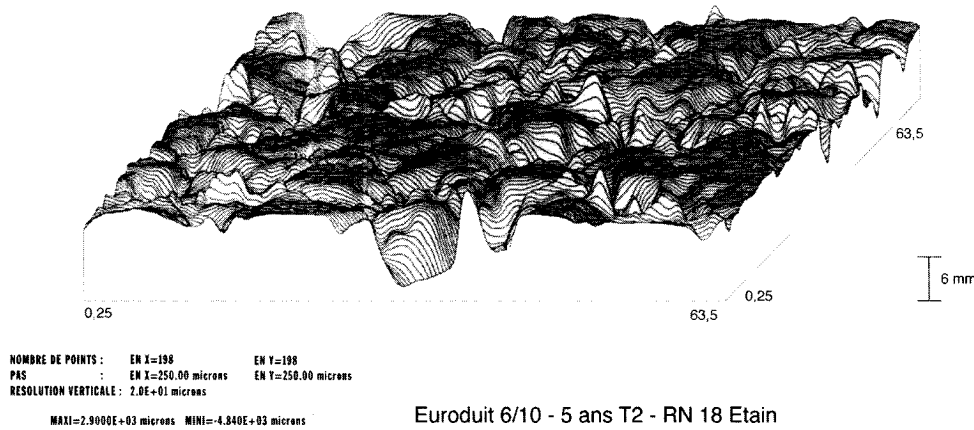
- exceptionnellement, des arrachements,
- le plus souvent, des remontées de mastic en surface.

Elles affectent bien sûr les zones les plus sollicitées, mais sont également liées aux hétérogénéités éventuelles du support.

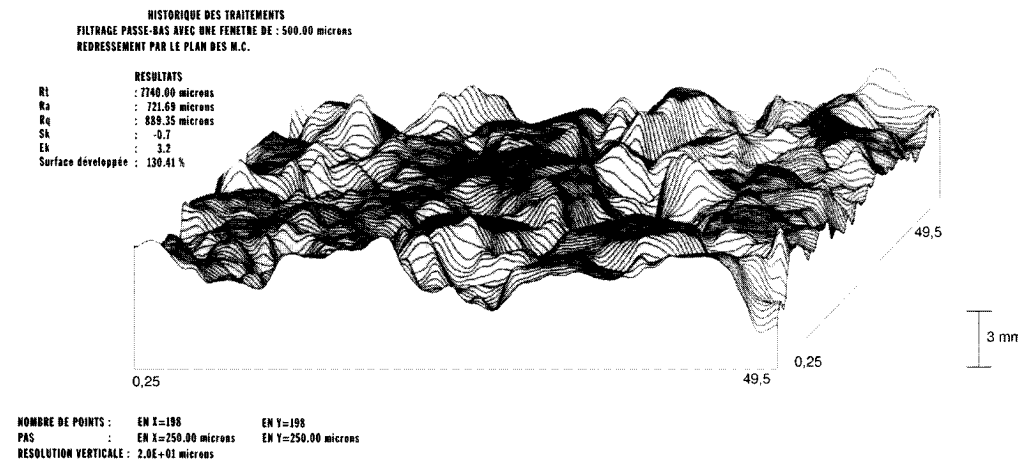
Cette évolution s'accompagne d'une baisse de 10 à 20 % des performances moyennes obtenues

Numérisation de la macrorugosité par capteur laser

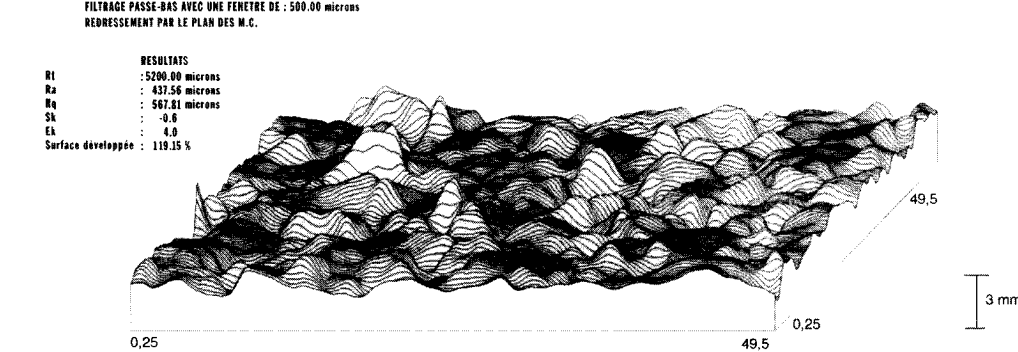
Euroduit 6/10 (non circulé)



Euroduit 6/10 - 5 ans T2 - RN 18 Etain



Euroduit 4/6 - 5 ans T2 - RN 18 Etain



BBTM 0/10 (circulé depuis plus d'un an)

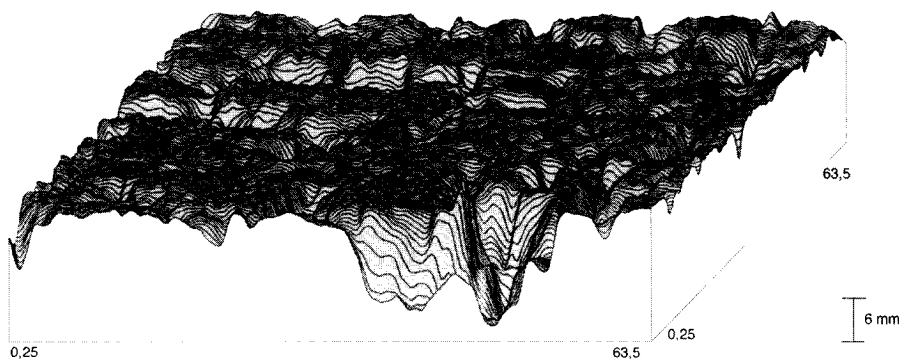


Fig. 10 - Numérisation de la texture d'un BBUM 0/6 et 0/10 après cinq ans, comparaison avec un BBUM 0/10 non circulé et un BBTM 0/10 après un an.

L'analyse de ces images conduit aux commentaires suivants :

— pour les BBUM sous trafic, la répartition des grains apparaît plus régulière pour la formulation 0/6 que pour le 0/10 ; les points de contact sont plus nombreux, mais la surface développée cumulée au contact d'un plan représentant le pneumatique est un peu plus faible. Les gravillons s'orientent à peu près de la même façon, ils restent bien à plat ;

— il n'y a pas de différence sensible entre la texture du BBUM 0/10 circulé et non circulé ;

— le BBTM 0/10 présente une surface beaucoup plus « plane » que le BBUM, du fait d'une orientation à plat des gravillons lors du compactage (mode de cylindrage au rouleau lisse).

en rugosité géométrique (hauteur au sable, cf. fig. 10 de la représentation en 3D de la macrotexture) et en adhérence (CFL cf. fig. 9) pour des durées de service de cinq à sept ans (trafic cumulé poids lourd 3 à 5×10^5). Les valeurs résiduelles restent cependant très correctes pour ces deux caractéristiques.

BBTM 0/6 de type 1 et BBUM 0/6

Remarques générales

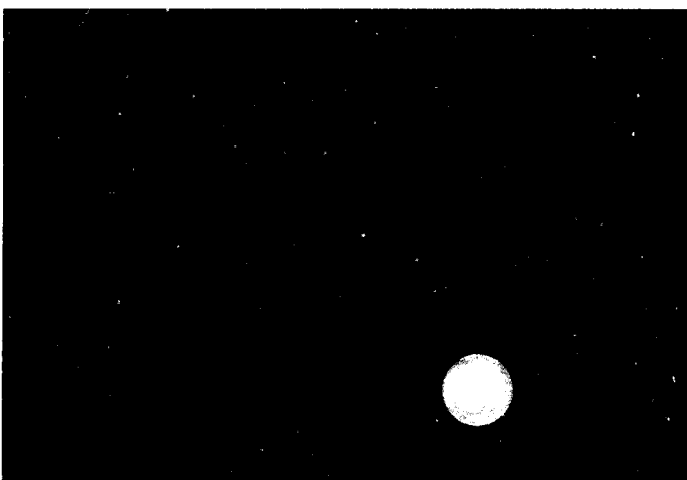
Les réalisations en 0/6 restent assez limitée, puisqu'elles ne représentent que 5 à 10 % des BBTM et BBUM. Leur développement est assez récent, car on a longtemps pensé qu'il fallait un revêtement à forte rugosité pour avoir de l'adhérence, d'où un désintérêt pour les fines granularités. Depuis deux à trois ans, on relève un accroissement très significatif de l'emploi des formulations 0/6 discontinues, notamment en milieu péri-urbain et urbain, mais aussi en rase campagne sur routes à circulation moyenne.

Le recul des observations est :

- important pour les BBTM 0/6 : on atteint maintenant dix années de suivi pour la technique du MICROVIA, qui a été à l'origine des BBTM à fine granularité. Les principales données (35 % des chantiers suivis) concernent donc ce produit sur divers réseaux et trafics. Les observations faites sur les autres produits portent seulement sur trois à quatre ans : leurs performances et évolutions sont comparables à celles constatées sur le Microvia ;
- encore limité pour les BBUM 0/6 : cinq ans. Toutefois les tendances se dessinent très bien.

Aspect de surface et évolution sous trafic

Les BBTM 0/6 se caractérisent principalement par une très bonne homogénéité d'aspect, qui se



Aspect très régulier de la macrotexture, très ouverte, d'un BBUM de formulation 0/6.

conserve dans le temps quels que soient le trafic, le site et l'âge du revêtement :

- même dans les sections en carrefour (exception faite des zones à très fortes sollicitations tangentielles comme les giratoires ou les rayons à très faible courbure), les applications en site urbain ont un bon comportement ;
- sur les chantiers comparatifs les plus anciens (N157 en Ille-et-Vilaine sur sept ans [6] et D51 dans le Rhône sur neuf ans), ce sont les BBTM 0/6 qui présentent les meilleurs comportements comparativement aux autres techniques d'entretien utilisées ;
- cette bonne durabilité est également confirmée par les applications les plus anciennes sur autoroutes, après trois à huit ans sous très fort trafic.

Comme pour les formulations en 0/10, les BBUM 0/6 sont plus sensibles que les BBTM 0/6 à la qualité du support, aux conditions de réalisation et à l'agressivité du trafic, car leur épaisseur est plus faible et surtout plus variable. S'ils présentent généralement une bonne régularité d'aspect au départ, celle-ci tend à évoluer quelque peu dans le temps par réarrangement de la texture superficielle ou indentation. Toutefois, lorsque le support est bien homogène et en bon état, le comportement est analogue à celui d'un BBTM.

Rugosité

Les mesures de macrotexture réalisées donnent les résultats suivants :

- BBTM 0/6 : $HS_{moyen} = 0,8$ à $0,9$ mm (étendue : 0,6 à 1 mm selon les réalisations urbaines ou en rase campagne),
- BBUM 0/6 : $HS_{moyen} = 1,1$ à $1,2$ mm (étendue : 1 à 1,4 mm).

Si ces revêtements présentent une rugosité géométrique inférieure aux formules BBTM et BBUM 0/10 (- 25 à - 30 % en valeur relative), celle-ci reste néanmoins supérieure à celle de tous les autres revêtements en enrobés classiques (+ 20 à + 40 % en valeur relative par rapport aux BBM et surtout au bétons bitumineux semi grenu traditionnel). Aussi leur drainabilité superficielle peut être considérée comme bonne et satisfaisante pour un enrobé, d'autant que pour les BBTM 0/6 cette caractéristique n'évolue pas (après le passage cumulé de plus de 3 millions de poids lourds, la diminution de la hauteur au sable est à peine de 10 %). Avec les BBUM 0/6, la rugosité diminue un peu plus dans les traces des roues (baisse d'environ 15 % après seulement deux ans de circulation ou environ 0,7 million de poids lourds).

Des moulages sur chaussées ont été réalisés sur la RN 18 à Étain (département de la Meuse), après cinq années d'un trafic T1 (0,6 millions de

poids lourds), sur deux sections en BBUM de formulation 0/6 et 0/10, présentant respectivement des hauteurs au sable de 1,2 et 1,8 mm. Ces empreintes analysées par le microprofilomètre à laser (section IRVAR du LCPC, cf. fig. 10) permettent de reconstituer une image en trois dimensions et d'appréhender les différences entre différents revêtements et de suivre les réarrangements superficiels.

Adhérence

Contrairement à l'idée reçue des années 1970-1980 selon laquelle plus un revêtement est rugueux et meilleure est son adhérence, ces formules 0/6 discontinues 2/4 (présentant une macrotexture comprise entre 0,7 et 0,9 mm) constituent les revêtements de chaussée les plus performants dans les conditions de mesure de l'adhérence (fig. 11). Les performances initiales des BBTM et BBUM sont comparables : les résultats de mesures CFL sont excellents aussi bien à 40 qu'à 120 km/h.

Ces remarquables propriétés d'adhérence se conservent dans le temps pour les BBTM 0/6 (cf. fig. 12) : les mesures effectuées après le passage de 2 à 3 millions de poids lourds conduisent à une très faible réduction des coefficients CFL 40 à 120 (baisse respective de 5 à 10 % et de 0 à 5 %).

Ces performances s'expliqueraient par l'augmentation du nombre de points de contact pneumatique-revêtement, par le maintien de la texture et très probablement par une « régénération » partielle des zones de contact.

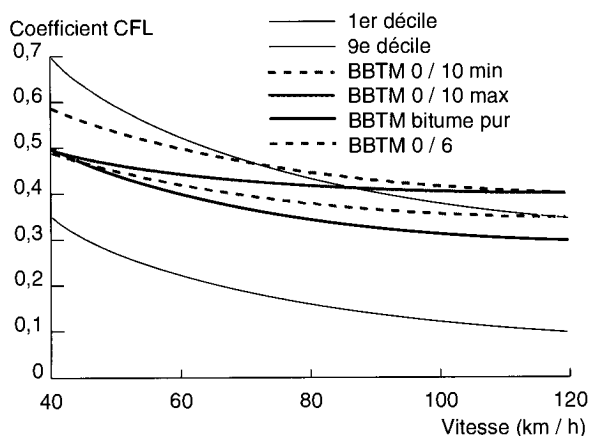


Fig. 11 - Adhérence des BBTM sur le chantier comparatif de la RN 157 après 4,5 millions de poids lourds, comparaison entre BBTM 0/10 modifié (min/max des 8 revêtements), BBTM 0/10 bitume pur (formule légèrement « grenue ») et BBTM 0/6 modifié.

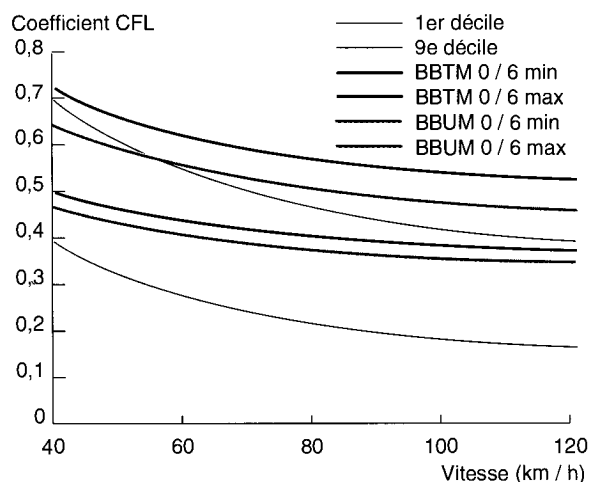


Fig. 12 - Adhérence des BBTM et BBUM 0/6, tous âges confondus (fuseau min/max sur 18 chantiers représentant un trafic cumulé compris entre 0,3 et 1,5 million de poids lourds).

BBTM de type 2

BBTM 0/10 de type 2

Les premiers chantiers, réalisés en 1987 à titre expérimental par l'Administration, étaient basés sur l'idée de mettre en œuvre en très faible épaisseur des enrobés de type drainant. Les bétons bitumineux utilisés alors étaient de granularité 0/10, comportant 25 à 28 % de vides à vingt-cinq girations à la PCG. Ils sont assimilables par leur épaisseur d'utilisation aux BBTM de type 2 ultérieurement identifiés par la norme NF P 98-137. Bien que ces expériences datent de sept à huit ans, les BBTM de type 2 n'ont pas connu de développement important : les quelques chantiers observés se situent dans l'Ouest de la France. À noter cependant qu'un développement significatif est actuellement envisagé dans quelques départements (200 000 m² en 1994 et 1995 sur un seul département) : satisfaits par la tenue de leurs premières réalisations, les maîtres d'œuvre concernés y voient l'intérêt d'offrir à l'utilisateur une surface réduisant les projections d'eau par temps de pluie avec une épaisseur plus faible que celle d'un enrobé drainant conforme à la norme (et donc à un coût inférieur).

Sur les quelques chantiers observés, on constate :

- une bonne tenue dans le temps quels que soient l'âge et le trafic : l'aspect est très homogène, en dehors de quelques arrachements de gravillons sur des zones à sollicitation moyenne à forte (carrefour, virage serré, etc.) ;
- une macrotexture forte (hauteur au sable de l'ordre de 2 mm) et durable (constatations après six à huit ans d'âge, sous trafic T1) ;

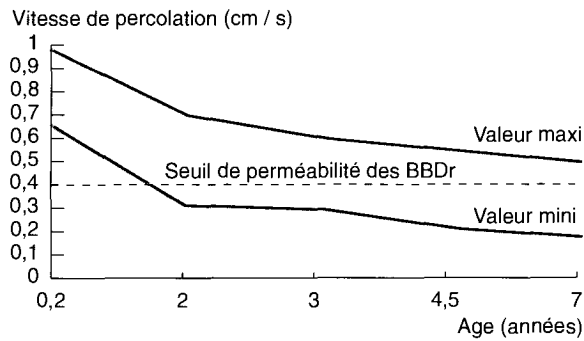


Fig. 13 - BBTM type 2, formule 0/10, quelques résultats d'évolution de la perméabilité globale (superficielle et un peu interne), mesurée au drainomètre de chantier (NF P 98-254-3).

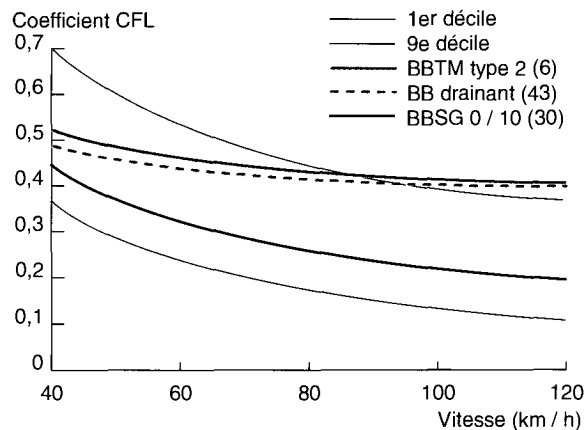
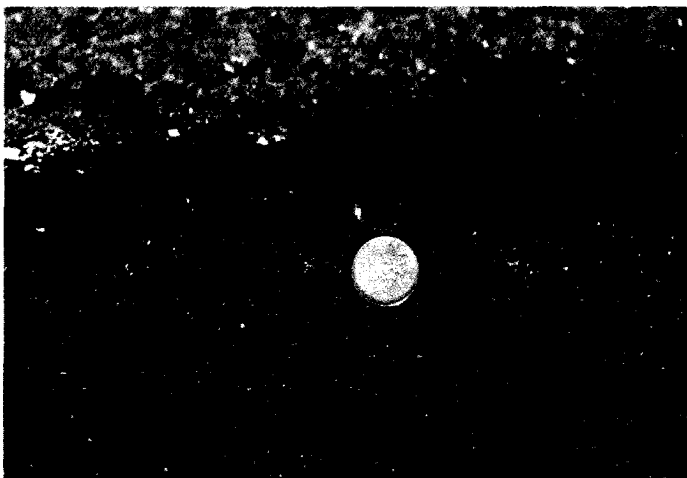


Fig. 14 - Adhérence moyenne sur 6 chantiers de BBTM 0/10 de type 2, après trois à cinq ans de service, soit un trafic cumulé d'environ 1 à 2 millions de poids lourds, comparaison avec les BBSG 0/10 et les enrobés drainants 0/10 (trafic cumulé compris entre 1 et 5 millions de poids lourds).



Épaisseur centimétrique du BBUM, couche d'accrochage-imperméabilisation au dosage en liant important.

- une bonne drainabilité, au moins superficielle, comme l'indique la figure 13. Cette drainabilité contribue à améliorer la visibilité par temps de pluie, comme dans le cas des enrobés drainants ;
- une adhérence satisfaisante, notamment à vitesse élevée. L'allure de la courbe traduisant les variations de CFL en fonction de la vitesse et les valeurs enregistrées après quelques années de circulation sont comparables aux résultats obtenus sur enrobés drainants (fig. 14).

BBTM 0/6 de type 2

Depuis un à deux ans, on voit quelques réalisations de BBTM 0/6 de type 2, principalement en milieu péri-urbain. L'objectif est de concilier une adhérence forte, une réduction durable des projections d'eau (en évitant le colmatage interne comme avec les enrobés drainants) et une limitation significative du bruit de roulement. Ceci peut être obtenu en créant un revêtement à macrot texture élevée (valeur en moyenne de 1,2 mm) par une granulométrie très pauvre en sable (moins de 20 %) et une faible émission de bruit par l'emploi d'une fine granularité. Ces compositions se rapprochent bien évidemment des enrobés drainants : la proportion de sable varie de 20 % (rase campagne ou péri-urbain) à 15 % (site urbain), le liant est généralement assez fortement modifié pour maintenir une bonne cohésion de l'ensemble.

Les premiers résultats sont assez encourageants. Ils répondent pour l'instant aux objectifs affichés précédemment. Il convient d'évaluer leur durabilité.

Caractéristiques communes des revêtements BBTM et BBUM

Les caractéristiques relatives à l'imperméabilisation, l'amélioration de l'uni, la remontée de la fissuration et au bruit de roulement sont assez comparables pour l'ensemble des couches d'enrobés en très faible épaisseur.

Imperméabilisation

A priori, l'imperméabilité est assurée par le dosage élevé de la couche d'accrochage, qui compense la compacité en place plutôt faible des BBTM (valeur estimée entre 85 et 90 %) et surtout des BBUM, à condition que cette couche soit régulière et continue.

On peut se demander si tous les procédés de mise en œuvre utilisés pour la technique BBUM sont équivalents de ce point de vue, mais il n'a pas été réalisé de contrôles comparatifs sur cet aspect.

Uni

Bien que les épaisseurs soient faibles et sous réserve d'une bonne régularité de l'avancement de l'atelier de mise en œuvre, on enregistre généralement une amélioration de l'uni dans les courtes longueurs d'ondes. Les BBTM ont ainsi permis d'accroître très nettement le confort sur certaines anciennes chaussées en béton par le recouvrement des joints de dalle (amélioration de l'uni jusqu'à deux points en note APL onde courte et 1 point en onde moyenne).

Les BBUM apportent aussi une amélioration perceptible de l'uni (notamment pour les CAPL 25 compris entre 4 et 10), d'autant plus sensible que le support est irrégulier : mais il en résulte alors des variations d'épaisseurs, qui peuvent être préjudiciables à la bonne tenue du revêtement.

Remontée des fissures

Comme pour toutes les techniques très minces, la fissuration, en particulier lorsqu'elle est active (par exemple, fissures transversales de retrait), réapparaît très rapidement, parfois même dès la première année avec les BBUM. Elle remonte un peu moins vite avec les BBTM 0/10. Un traitement par pontage préalable des fissures s'avère utile même si celui-ci se redessine au travers de la couche d'enrobés.

Relation entre l'adhérence et le choix des granulats

Le choix d'un granulat à fort CPA (0,5 à 0,55) est toujours favorable à l'obtention d'un niveau élevé de l'adhérence et à sa durabilité, aussi bien pour les BBTM que pour les BBUM. Quelques suivis de chantiers ont montré que des écarts de CPA de 0,05 à 0,07 (valeur CPA maximale de 0,52-0,54) se traduisaient assez rapidement (dès deux à trois ans) par une perte de l'ordre de dix points du CFT et CFL 40 (adhérence à vitesse réduite, indispensable lors des conditions d'arrêt). Cette baisse a tendance à augmenter avec le temps. Cette diminution d'adhérence s'observe également à plus grande vitesse, avec des écarts moins importants (quatre à cinq points en CFL 120). Toutefois, les valeurs d'adhérence les plus faibles obtenues avec ces granulats sur des BBTM ou BBUM sont généralement équivalentes à celles enregistrées sur les enrobés classiques, comme les BBSG par exemple.

Les résultats sur le chantier expérimental de l'autoroute A 63, sur des enrobés drainants en couche très minces (BBTM 0/6 de type 2), ont montré qu'il y avait, en termes d'adhérence, une certaine compensation d'un CPA faible du granulat (0,44 et 0,52) par une formule à plus fine granularité (0/10 par un 0/6). Comme par ailleurs, à même nature de granulat (CPA générale-

ment supérieur à 0,50), l'adhérence des 0/6 est nettement meilleure que celle des 0/10, on pourrait envisager, pour des raisons économiques et dans certains cas (sans demande particulière de la macrotecture), l'emploi de formules 0/6 lorsque le CPA est un peu faible (CPA 0,45 à 0,50) [7].

Des expérimentations [8] sont lancées depuis trois ans pour mieux fixer les caractéristiques optimales des granulats en fonction des performances technico-économiques fixées pour ces revêtements.

Propriétés acoustiques

La méthode de mesure franco-allemande avec véhicule maîtrisé (norme NF S 31-119) caractérise le revêtement par le bruit de contact pneumatique-chaussée. Les mesures disponibles contenues dans le fichier « bruit » du LRPC de Strasbourg sont synthétisées sur la figure 15.

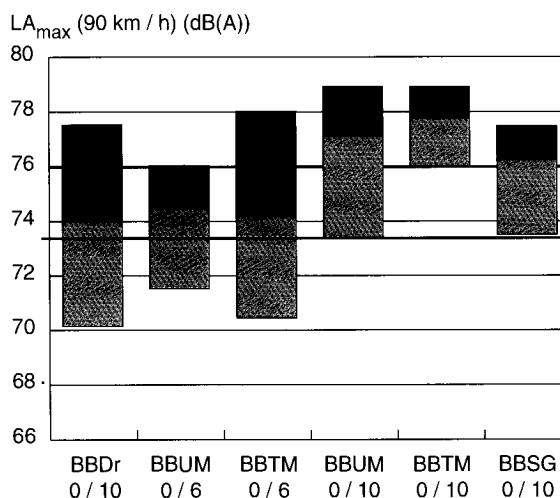


Fig. 15 - Comparaison des bruits de roulement routier sur différents revêtements en couches minces à ultra-minces, tous âges confondus (un à quatre ans de service).

□ Les revêtements 0/6 se classent parmi les revêtements définis comme peu bruyants (valeur < 76 dB(A)), comme les enrobés drainants au jeune âge. Mais, à la différence de ces derniers, on peut penser que, les caractéristiques de surface des BBTM 0/6 n'évoluant pas, ces bonnes propriétés acoustiques restent stables dans le temps. En milieu urbain, des mesures de bruit environnant en façade de bâtiment avant et après la pose de BBTM ou BBUM 0/6 ont systématiquement conduit à une diminution des nuisances sonores : les mesures Leq 8h - 20h ont baissé en moyenne de - 4 dB(A), avec une étendue de - 2 à - 7 dB(A) fonction de la nature des anciens revêtements (enrobés usés mais aussi pavage).

□ Pour les formulations 0/10 de type 1, le niveau sonore est plus élevé : il n'y a pas d'absorption partielle des ondes sonores dans la masse du revêtement comme pour les enrobés drainants.

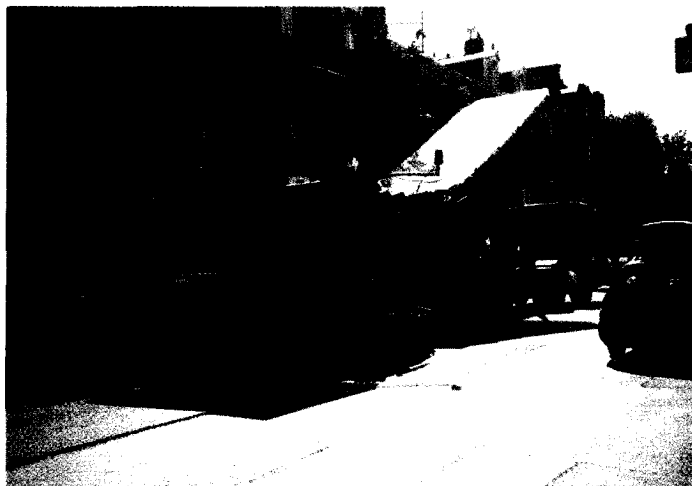
□ On ne dispose pas encore de mesures pour les **BBTM 0/10 de type 2**. Les deux mesures disponibles sur un BBTM 0/6 de type 2 conduisent à des LA_{max} (90 km/h) de 72 à 74 dB(A), soit des résultats du même ordre de grandeur, voire légèrement inférieur aux BBTM 0/6 type 1. On peut donc penser qu'il existerait un léger phénomène d'absorption par la porosité élevée de surface. Ces performances demandent à être confirmées par d'autres réalisations. Ce revêtement s'inscrirait dans la classe peu bruyante.

Évolution des propriétés acoustiques

Actuellement, on ne dispose pas de suffisamment de données pour quantifier statistiquement l'évolution dans le temps des revêtements de chaussée. Seul le tableau VII (analyse du fichier sur tous sites confondus, par tranche d'âge de zéro à un an et de un à trois ans) présente quelques résultats et tendances. Ces dernières sembleraient conduire à une certaine stabilité du bruit sur les techniques 0/6.



Intérêt de l'application d'un BBUM en ville : suppression des travaux de remise à niveau (les regards ne sont pas relevés, seulement protégés).



Application en ville d'un BBUM, sous circulation.

TABLEAU VII
Évolution des propriétés acoustiques (db(A)),
comparaison entre BBDR, BBTM et BBUM

Technique	Âge	Nombre	Moyenne	Mlni	Maxl
BBDR 0/10	0 - 1 an	30	73,3	70,1	76,1
	1 - 3 ans	19	74,6	71,6	77,6
BBTM 0/6	0 - 1 an	21	74,3	70,4	78,4
	1 - 3 ans	3	[73,9]	73,1	74,3
BBUM 0/6	0 - 1 an	5	[74,3]	71,3	76,1
	1 - 3 ans	6	[74,2]	73,5	75,3

Commentaires

Les chiffres entre [crochet] ne sont pas significatifs pour juger d'une évolution sensible au niveau de la valeur moyenne, d'autant qu'il ne s'agit pas des mêmes sites.

Conclusions et perspectives [9], [10]

Mises au point pour résoudre les problèmes de surface au moindre coût et en limitant la surélévation du niveau des chaussées, les applications d'enrobés à chaud en très faible épaisseur exigent un support bien dimensionné et non déformé ainsi que des conditions optimales de fabrication et de mise en œuvre.

□ La technique **BBTM**, aujourd'hui normalisée et bien maîtrisée, possède une durabilité équivalente à celles des enrobés traditionnels BBSG ou BBM et conduit à d'excellentes caractéristiques de surface. Sur tous les réseaux routiers, elle a, aujourd'hui, largement trouvé sa place dans la panoplie des techniques de renouvellement de couche de roulement, mais demeure encore relativement peu employée en construction (ou renforcement) de chaussée.

□ D'apparition plus récente, la technique **BBUM** connaît un développement plus restreint et semble avoir atteint un pallier actuellement. Les raisons tiennent à la technique elle-même :

- sensibilité plus forte au support, à la période de mise en œuvre,
- coûts pas toujours attractifs,

mais aussi à la place déjà prise sur le créneau visé par les BBTM.

Pénalisés par les premières formulations assez fermées et susceptibles d'évolution sous trafic, les BBTM au bitume pur d'aujourd'hui se comportent mieux : leur intérêt économique laisse envisager un développement plus important. Cependant, pour les sollicitations les plus fortes (nombre de PL/jour/sens supérieur à 1 000/1 200, secteurs particulièrement exposés, etc.), l'emploi de liants modifiés ou d'ajout de fibres dans les BBTM 0/10 s'avère préférable pour réduire les risques d'évolution.

Mais la principale inconnue de ces prochaines années réside dans la place que vont prendre les formulations en 0/6 : leur tenue sous trafic ainsi que le niveau et la durabilité des caractéristiques atteintes en adhérence constituent pour beaucoup d'heureuses surprises. Sans égal sur le plan du compromis « niveau sonore/niveau d'adhérence à vitesses moyennes et faibles », BBTM, BBUM

(à un degré moindre, sans doute) ou techniques dérivées à base de sable 0/2 et de gravillons 4/6 devraient s'imposer en milieu urbain ou péri-urbain. En rase campagne, le créneau d'emploi reste à définir à partir du niveau requis de rugosité géométrique compatible avec la sécurité et le confort de l'utilisateur par temps de pluie selon les vitesses pratiquées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] *Enrobés hydrocarbonés à chaud - Guide d'application des normes pour le réseau routier national (parties I et II)*, 1995, SETRA/LCPC.
- [2] *Chaussées d'autoroutes - infos - n° 40 - Bétons bitumineux très minces - dix ans d'expérience*, SETRA/LCPC.
- [3] *Enquête IQRN 1993 - 1994 - 1995*, LCPC.
- [4] BELLANGER J., DELALANDE G., DUPONT P., GANGA Y. (1996), Planches expérimentales « granulats - adhérence » suivi à trois ans, *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*, **739**, pp. 42-46.
- [5] LE COZ D., DUROS J.-C. (1989), Planches comparatives d'enrobés très minces sur la RN 157 en Ille-et-Vilaine, *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*, **667**, pp. 63-69.
- [6] BROUSSEAUD Y., POIRIER J.-C., ROCHE J.-P. (1995), *Enrobés drainants - conclusions tirées des bilans de comportement des deux chantiers expérimentaux*, Congrès AIPCR/PIARC de Montréal.
- [7] BELLANGER J., DELALANDE G., DUPONT P., GANGA Y. (1996), Optimisation granulats - adhérence des bétons bitumineux à la carte, *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*, **738**, pp. 40-42.
- [8] BROUSSEAUD Y., ABADIE R., LEGONIN R. (1996), *Les bétons bitumineux très minces, caractères spécifiques, bilan des réalisations et perspectives*, Communication Eurobitume - Euraspalt Strasbourg.
- [9] BROUSSEAUD Y. (1996), Les solutions d'entretien des couches de surface, panorama technique et économique, *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*, **742**, pp. 17-22.
- [10] Collège des observateurs de la Direction des routes (1993), *Dossier thématique « Observatoire des techniques de chaussées »*, SETRA/LCPC, déc.

ABSTRACT

Very thin and ultra-thin wearing courses using hot laid bituminous materials A review of use and performance

Y. BROUSSEAUD - R. ABADIE - R. LEGONIN

Very thin layers of hot-laid materials have now been used for more than ten years, during which time more than 110 million m² have been laid on roads of all types. This paper presents current technical knowledge about these surfacings and describes their domain of application and the special conditions which apply to their use. Their measured performance and change over time are described. A detailed account is given of the field of survey, so that an assessment can be made of the representativeness and scope of the conclusions. We have made comparisons with competing techniques in order to indicate their specific features. Operationally, these techniques are now thoroughly mastered. They provide a durable solution for both pavement construction and maintenance, combining excellent skid resistance with a high level of road user comfort (low rolling noise in the case of 0/6 mixes)

Cet article complète la note d'information SETRA-LCPC des matériaux à chaud en couches très minces et ultra-minces. Il a été établi dans le cadre des travaux de l'Observatoire des techniques de chaussées de la Direction des routes [10].