

# Adhérence des revêtements de chaussées routières

Yves BROSSEAUD

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Valéry LE TURDU

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées d'Angers

## RÉSUMÉ

Les niveaux d'adhérence moyens des principales techniques bitumineuses sont analysés, à partir des données d'un fichier nommé CARAT, et comparés aux résultats de chantiers expérimentaux. Cette base de données permet de conforter l'état des connaissances sur les performances des revêtements de chaussées et de contribuer au développement et à l'évaluation de nouveaux produits.

L'influence sur l'adhérence de la famille d'enrobés, de la composition, du calibre, de la nature du liant et de la résistance au polissage du granulat sont examinés. La durabilité de l'adhérence est appréciée par la classe de trafic lourd cumulé. Une réflexion est conduite sur les potentialités d'amélioration de l'adhérence, par une description de procédés adaptés.

L'emploi de revêtements à haute adhérence sur les sites dangereux et l'usage de la technique de micro-incrustation, pour améliorer l'adhérence au jeune âge, sont détaillés.

Les tendances actuelles en matière de choix des revêtements d'entretien sont développées, selon les différents réseaux et milieux concernés. Les perspectives sur le développement de nouvelles techniques permettant d'augmenter la durabilité des caractéristiques de surface et de limiter les séquences d'entretien sont présentées.

DOMAINE : Route.

## ABSTRACT

### SKID RESISTANCE OF ROAD PAVEMENT SURFACING

Average skid resistance levels from the predominant bituminous techniques have been analyzed, using data from a file called "CARAT", and then compared with results obtained from experimental worksites. This database serves to consolidate the state of knowledge on the performance of pavement surfacing and contribute to developing and evaluating new products.

The influence on skid resistance of a particular family of bituminous overlays, including the composition, grain maximum size, nature of the binder and polishing strength of the aggregate, will all be examined. Skid resistance durability will be assessed by cumulative categories of heavy vehicle traffic. A strategic reflection has also been provided on potential areas for improving skid resistance, through a description of well-adapted processes.

Use of a highly skid-resistant surfacing on more dangerous sites, coupled with application of the micro-encrustation technique designed to enhance early-age skid resistance, will also be detailed herein.

Current trends with respect to road maintenance surfacing choices will be indicated, according to the various road networks and environments under examination. The article closes with a look at the prospects for new techniques to enable increasing the durability of surface characteristics and thus spacing the schedule of maintenance interventions.

FIELD: Roads.

71

## PRÉSENTATION DU FICHIER DE MESURES ET DE DONNÉES CARAT

La connaissance des caractéristiques d'adhérence des revêtements routiers, et de leur évolution dans le temps sous l'action du trafic, est un élément d'information important pour guider les services techniques et gestionnaires dans le choix des techniques en fonction du site. Pour les entreprises, la détermination de fuseaux de performance par type de technique permet de situer les performances de leurs nouveaux produits.

Dans le cadre de l'amélioration des conditions de sécurité des routes, l'adhérence du revêtement intervient de façon directe. La compréhension et l'établissement de lois d'évolution de cette performance sous trafic passent par une bonne connaissance du terrain, et par l'analyse de mesures fidèles et pertinentes.

Depuis 1986, en collaboration avec le LCPC, le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) d'Angers a constitué une base de données informatisée, appelée CARAT (Caractéristiques de Revêtements en Adhérence et Texture), regroupant les mesures de coefficient de frottement longitudinal

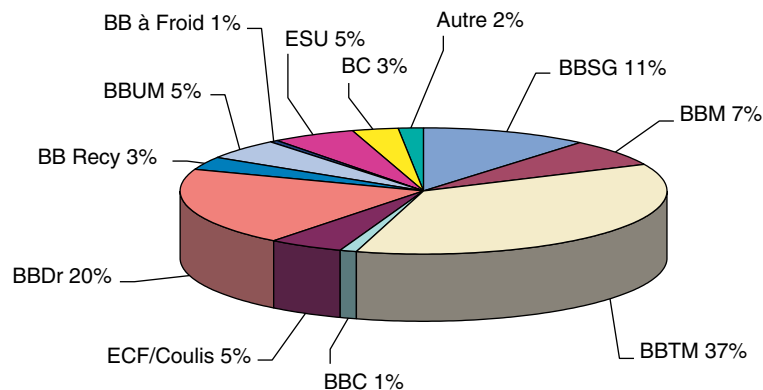
(CFL) et des mesures de texture. Cette base de données comprend aussi des informations sur la localisation du site, la nature des constituants et la composition des revêtements, ainsi que sur le trafic poids lourds cumulé.

Les trois LRPC mesureurs (Lille, Bordeaux et Lyon) effectuent les essais avec la remorque ADHERA 2 par référence à la norme NF P 98-220-2. Les vitesses d'essais sont comprises entre 40 et 120 km/h. La condition de mouillage est une hauteur d'eau de 1 mm\*.

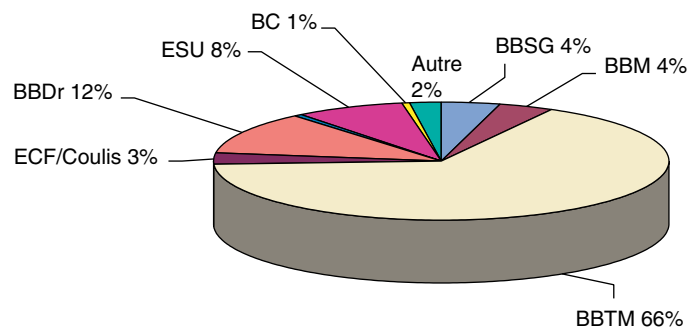
Le fichier CARAT s'enrichit chaque année de quelques centaines de mesures. Il comporte actuellement plus de 8 000 fiches. Tous les revêtements de chaussées sont représentés, à savoir les différents enrobés, normalisés ou non (85 % de la base), comme les bétons bitumineux ultramincés (BBUM) ou les enrobés coulés à froid (ECF), les enduits superficiels d'usure (ESU) (7 % de la base) et les bétons de ciment (3 % de la base).

La figure 1 donne la répartition des revêtements figurant dans la base CARAT, tant pour les mesures avec le pneu 90 (période de 1986 à 2003) que pour le nouveau pneu 98 (période depuis 2000 à aujourd'hui)\*\*.

**7563 fiches pour le pneu 90 (entre 1986 et 2003)**



**516 fiches pour le pneu 98 (entre 2000 et 2003)**



**Figure 1**  
Répartition des données de la base CARAT, selon les types de revêtement, pour les deux pneumatiques de mesure (pneus 90 et 98).

\* Cf. article de Michel Gothié dans ce numéro.

\*\* Cf. annexe.

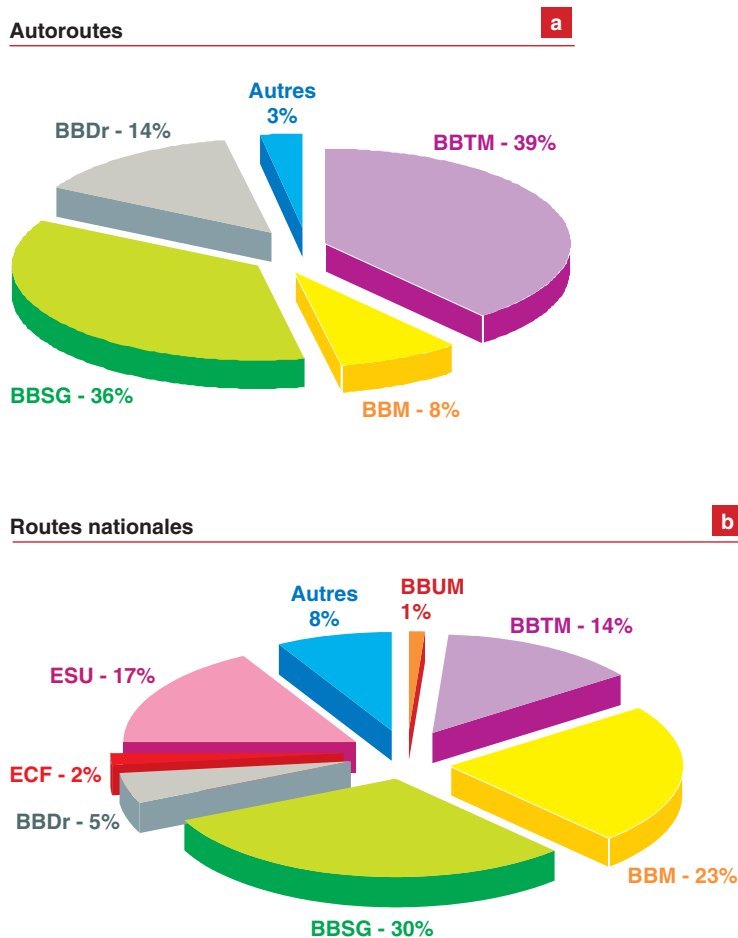
Les différents revêtements sont regroupés selon :

- la famille de revêtements : BBUM, ESU, ECF, béton de ciment, etc. ;
- le type de calibre\* ou dimension maximale de l'enrobé : 6, 8 (parfois), 10 ou 14 mm,
- la composition normalisée :
  - bétons bitumineux très minces (BBTM) de classe 1 (classique) ou 2 (« ouvert »),
  - bétons bitumineux minces (BBM) selon les classes a, b ou c, suivant que la courbe granulométrique est fortement, faiblement ou non discontinue,
- la nature du liant ou de l'additif selon les produits.

En fonction de l'évolution des procédés, une importance particulière a été accordée aux nouveaux revêtements des années 1980-1990, comme les bétons bitumineux drainants (BBDr), les BBTM et, plus récemment, aux BBUM, ECF, et aux enrobés à fine granularité 0/6 ou à base de matériaux recyclés.

L'analyse globale de la base ne permet pas d'avoir une vue d'ensemble du réseau, mais de pouvoir comparer objectivement les familles de revêtement. La base accorde un plus grand poids aux techniques susceptibles d'offrir un plus haut niveau d'adhérence pour les vitesses élevées (secteur autoroutier notamment).

À titre de comparaison avec la base CARAT, la figure 2 donne la répartition des techniques de revêtement sur le réseau des routes nationales (source : SETRA 2000) et des autoroutes concédées [1].



□ **Figure 2**

Répartition des revêtements.

a - 9 500 km d'autoroutes concédées.

b - 28 000 km de routes nationales.

\* Dimension des plus gros granulats.

La prise en compte de l'évolution des propriétés d'adhérence, par usure, s'effectue au travers des cinq classes de trafic « poids lourds » cumulé (TCPL) (charge roulante supérieure à 50 kN). Les classes de TCPL sont définies dans le tableau I.

**TABLEAU I**  
Classes de trafic et correspondance estimée avec le trafic journalier et les âges

Classe	Trafic cumulé	Durée estimée selon le trafic journalier					État du revêtement
		50 PL/j	150 PL/j	300 PL/j	750 PL/j	2 000 PL/j	
C1	< 20 000	1 an	4 mois	2 mois	1 mois	10 jours	Neuf
C2	< 200 000	10 ans	3 ans 1/2	2 ans	9 mois	3 mois	Récent
C3	< 1 000 000		18 ans	9 ans	3 ans 1/2	1 an	Âge moyen
C4	< 5 000 000				18 ans	7 ans	Ancien
C5	> 5 000 000					10 ans	Très ancien

## EXPLOITATION DU FICHIER CARAT

Les courbes de variation du CFL en fonction de la vitesse sont reportées dans un fuseau de référence\*, tous types de revêtements confondus, établi à partir de milliers de mesures effectuées sur des revêtements routiers français variés [2].

Les mesures de frottement CFL permettent de caractériser les revêtements en place et d'évaluer leurs performances comparativement à la « moyenne » obtenue (fuseau définissant les 1<sup>er</sup> et 9<sup>e</sup> déciles) pour des sites comparables et une même classe de trafic.

Il convient de rappeler que ces mesures correspondent à une condition de frottement en glissement total, sans contribution du pneumatique à l'évacuation de la lame d'eau [3]. Ces mesures traduisent plus particulièrement une condition de freinage des véhicules non équipés d'un système antibloquant en réaction d'urgence avec blocage des roues\*\*.

### Rappels des données chiffrées

On s'intéressera aux classes de trafic important (C3 à C5), pour mettre en évidence l'incidence du revêtement sur le niveau d'adhérence en service et, notamment, sur le moyen et le long terme. Les trafics de classe C1 ou C2 traduisent l'état d'un revêtement neuf ou récent, permettant de suivre le comportement au jeune âge. Toutefois, les résultats, notamment en classe C1, sont dispersés, du fait du décapage plus ou moins rapide de la pellicule de liant sur le granulat, de l'importance du trafic et de la date d'exécution des travaux.

Les résultats donnés ci-après concernent les valeurs moyennes, pour les classes de trafic C3 à C5, des principales familles d'enrobés utilisées tant en travaux neufs (généralement épais ou mince : BBSG ou BBM) qu'en travaux d'entretien des couches de surface (BBD<sub>r</sub>, BBTM, BBUM, BB recyclés). Elles sont organisées par calibre (ou dimension maximale) croissant.

Ces valeurs moyennes ne peuvent être considérées comme significatives que lorsque la population est au moins de quinze unités. Elles ne fournissent qu'une tendance dans la gamme de cinq à quinze unités, tendance qui demande bien entendu confirmation par de nouvelles mesures.

Les tableaux II à XI correspondant à une granularité et à des classes de trafic croissantes donnent les effectifs et les valeurs moyennes en CLF 40, CFL 80 et CFL 120 par type de revêtement [4].

\* Établi en 1980.

\*\* Voir article de Yves Delanne dans ce numéro.

## CLASSE DE TRAFIC C3 (TABLEAUX II à V)

**TABLEAU II**  
Revêtements à fine granularité 0/6 ou 0/8

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBTM (1) 0/8	8	56,8	41,3	36,1
BBTM (1) 0/6	69	55,3	43,9	40,1
BBDr 0/6	17	55,7	45,7	42,4
BBUM 0/6	27	54,8	42,4	38,2
ECF 0/6	5	49,4	38,6	35,0

**TABLEAU III**  
Revêtements à granularité 0/10

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBSG continu 0/10	62	47,8	28,3	21,8
BBMb 0/10	5	50,3	39,4	35,7
BBMa 0/10	33	51,5	37,2	32,4
BBDr 0/10	165	52,0	43,3	40,5
BBTM (1) 0/10	306	51,7	38,3	33,8
BBUM 0/10	86	52,1	41,9	38,5
ECF 0/10	23	51,4	37,3	32,5

**TABLEAU IV**  
Revêtements BBTM type 1 au bitume pur et liant modifié

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBTM (1) 0/10 pur	158	50,0	39,0	33,0
BBTM (1) 0/10 BmP	119	53,0	39,0	34,0

**TABLEAU V**  
Revêtements à granularité 0/14

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBSG continu 0/14	60	50,5	32,3	26,3
BBSG discontinu 0/14	5	52,0	36,2	30,9
BBRecy 0/14	33	51,1	33,0	27,0
BBMb 0/14	15	47,5	29,3	23,2
BBMa 0/14	12	46,0	33,0	28,7
BBTDr 0/14*	107	50,6	41,9	39,0
BBTM (1) 0/14*	141	48,1	34,5	30,0

\* Techniques abandonnées par la normalisation, pour des raisons fonctionnelles (sensibilité plus grande à l'arrachement, nuisances sonores, sans amélioration significative de l'adhérence et de sa durabilité).

## CLASSE DE TRAFIC C4 (TABLEAUX VI À IX)

**TABLEAU VI**  
Revêtements à fine granularité 0/6

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBRecy 0/6	4	49,3	36,0	31,6
BBDr 0/6	5	49,9	42,1	39,4
BBTM (1) 0/6	26	57,6	45,9	42,1
BBUM 0/6	8	51,1	40,4	36,9
ECF 0/6	6	51,8	36,6	31,5

\* BBRecy : béton bitumineux à base d'enrobés recyclés.

**TABLEAU VII**  
Revêtements à granularité 0/10

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBSG continu 0/10	44	43,0	24,8	18,7
BBRecy 0/10	17	48,1	33,0	28,0
BBMa 0/10	4	48,3	31,6	26,1
BBDr 0/10	161	48,1	40,3	37,7
BBTM (1) 0/10	294	48,3	36,3	32,3
BBUM 0/10	38	46,6	38,0	35,2
ECF 0/10	17	54,0	37,0	31,3

**TABLEAU VIII**  
Revêtements BBTM type 1 au bitume pur et liant modifié

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBTM (1) 0/10 pur	108	48,0	36,0	29,0
BBTM (1) 0/10 BmP	137	49,0	38,0	33,0

**TABLEAU IX**  
Revêtements à granularité 0/14

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBSG continu 0/14	56	44,5	27,8	22,0
BBSG discontinu 0/14	5	46,3	33,8	29,7
BBRecy 0/14	19	46,2	29,8	24,3
BBMb 0/14	20	41,7	24,7	19,1
BBMa 0/14	17	43,5	30,1	25,6
BBDr 0/14*	170	45,5	38,6	36,2
BBTM (1) 0/14*	173	44,7	30,7	26,1

\* Techniques abandonnées par la normalisation, pour des raisons fonctionnelles (sensibilité plus grande à l'arrachement, nuisances sonores, sans amélioration significative de l'adhérence et de sa durabilité).

## CLASSE DE TRAFIC C5 (TABLEAUX X à XI)

**TABLEAU X**  
Revêtements à granularité 0/10

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBSG continu 0/10	6	42,5	26	20,6
BBRecy 0/10	20	45,1	30,3	25,3
BBDr 0/10	36	43,7	37,3	35,1
BBTM (1) 0/10	32	45,3	31,8	27,3

**TABLEAU XI**  
Revêtements à granularité 0/14

Revêtement	Effectif	CFL 40	CFL 80	CFL 120
BBSG continu 0/14	48	39,6	23,2	17,7
BBDr 0/14*	52	42,5	35,5	33,1
BBTM (1) 0/14*	4	46,6	33,8	29,5

\* Techniques abandonnées par la normalisation, pour des raisons fonctionnelles (sensibilité plus grande à l'arrachement, nuisances sonores, sans amélioration significative de l'adhérence et de sa durabilité).

Une grande partie de ces résultats est interprétée dans la suite de l'article.

En commentaires de ces résultats, on mentionnera :

- La nécessité de disposer de données complémentaires sur un certain nombre de familles :
  - classes C3, C4, C5 : ECF 0/6, BBTM 0/8, BBMb 0/10, BBMa 0/10,
  - classes C4 : BBUM 0/6, BBDr 0/6,
  - classes C5 : BBSG 0/10 (enrobé ayant été le plus utilisé sur le RRN).
- La vérification du classement en BBMa, b, c selon l'actualisation de la norme NFP 98-132 (juin 2000) : changement de désignation et de composition par rapport à la précédente version de la norme (a fortement discontinue ; b faiblement discontinue ; c continue).
- La nécessité d'un classement plus fin pour les enrobés recyclés en précisant le taux de recyclés (agrégats), la famille des enrobés d'origine et de destination.
- La dispersion des résultats, non indiquée dans les tableaux II à XI, qui est assez constante pour l'ensemble des familles, avec des ouvertures entre 1<sup>er</sup> et 9<sup>e</sup> déciles de l'ordre de 15 à 18 points, avec cependant des écarts souvent plus importants au CFL 40 qu'au CFL 120.

En première analyse, ces résultats moyens permettent de disposer d'estimations et de tendances de performances d'adhérence des revêtements :

- les enrobés recyclés semblent présenter des niveaux d'adhérence proches de ceux des enrobés neufs ;
- les enrobés épais de granulométrie discontinue auraient un comportement beaucoup plus proche de celui des BBM que celui des BBSG (formule granulométrique continue) ;
- les BBTM 0/8 seraient sensiblement équivalents aux BBTM 0/6 ;
- les BBTM 0/6 et BBDr 0/6 présentent les niveaux d'adhérence les plus élevés pour la classe C4, avec un niveau encore plus favorable pour les BBTM (+ 3 à 5 points) ; il est nécessaire de poursuivre les suivis à plus long terme pour confirmer cette performance ;
- les BBDr 0/10 sont aussi performants et durables que les BBDr 0/14 ; il sera intéressant d'évaluer la durabilité des BBDr 0/6 ;
- les BBTM 0/10 et BBDr 0/10 présentent pour la classe de trafic la plus élevée (plus de 5 millions de PL) :

- des CFL 40 équivalents (0,45), soit une valeur encore très élevée,
- des écarts assez importants en CFL 80 et 120 respectivement :
  - 0,32 et 0,37 (soit + 5 points pour les BBDr),
  - 0,27 et 0,35 (soit + 8 points pour les BBDr),
- les BBDr offrent un niveau d'adhérence très élevé, durable et ce, notamment, à grande vitesse.

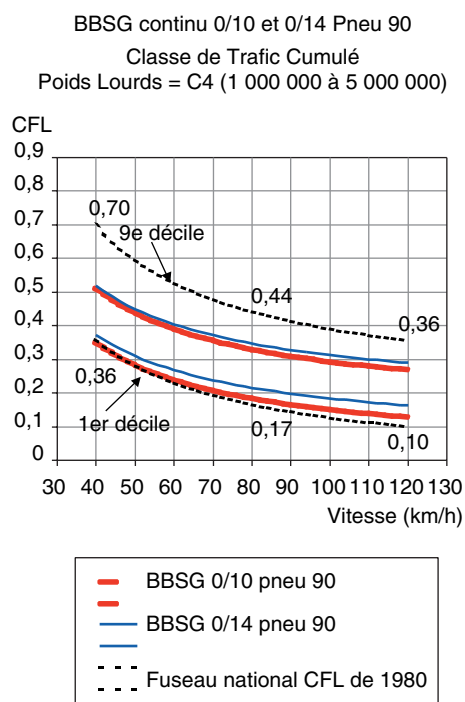
## Fuseau de référence

Des points de repère sont nécessaires pour évaluer le résultat d'une mesure particulière d'un revêtement de chantier (à la réception ou en service) ou pour apprécier le comportement d'une famille de revêtements. En 1980, un échantillon du réseau routier français avait permis d'établir un fuseau de référence dit « national 1980 » (mesure 1978, avec pneu AIPCR), correspondant aux 1<sup>er</sup> et 9<sup>e</sup> déciles de ce fuseau de référence tous revêtements. Ce fuseau de référence n'est plus représentatif de l'état du niveau actuel (cf. Fig. 3, les valeurs des seuils de CFL 40, 80, 120 km/h pour ce fuseau de référence).

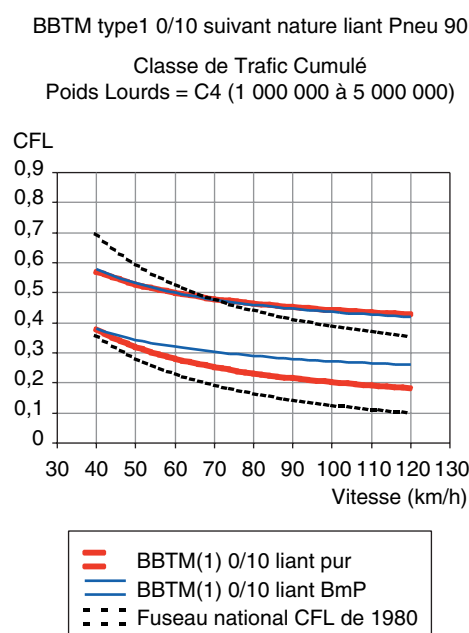
Le fichier est maintenant suffisamment riche pour bâtir des fuseaux par famille particulière de revêtements et par état d'usure, exprimé par la classe de trafic (TCPL). Cependant, il reste à compléter certaines données par de nouvelles mesures plus ciblées, notamment pour les techniques « classiques » (BBSG 0/10, ECF 0/6 et 0/10), « nouvelles » (ESU à fine granularité), mais également pour les techniques à base de recyclés (par type de famille), et ce, pour les classes TCPL élevées (C4 ou C5). Cela permettra de constituer des références dans la durée (recherche de revêtement à plus longue durée de service, sur les itinéraires les plus fréquentés) et pour les principaux revêtements utilisés.

Actuellement, près de 90 fuseaux de référence sont définis par l'enveloppe correspondant aux 1<sup>er</sup> et 9<sup>e</sup> déciles des résultats, selon la famille, le type de liant et la classe de trafic.

À titre d'exemple, les figures 3 et 4 proposent, pour la classe de trafic C4, une comparaison entre le fuseau « national 1980 » et les fuseaux des familles BBSG calibre 10 et 14 mm, ainsi que ceux des BBTM de classe 1, calibre 10 mm, pour les bitumes purs et modifiés (BmP).



□ **Figure 3**  
Fuseau de référence pour la famille BBSG 0/10 et 0/14, classe de trafic C4, comparaison avec le « fuseau national de 1980 ».



□ **Figure 4**  
Fuseau de référence pour la famille BBTM 0/10, classe 1, au bitume pur et bitume modifié par polymères (BmP), classe C4, comparaison avec le « fuseau national de 1980 ».



Les principaux commentaires sur les figures 3 et 4 sont les suivants :

- les BBSG 0/10 et 0/14 mm ne présentent pas de différences significatives, tant en ouverture qu'en position du fuseau. Le 1<sup>er</sup> décile tangente la courbe basse du fuseau « national 1980 » ; la performance de ces revêtements est assez modeste en qualité d'adhérence ;
- les BBTM 0/10 au bitume pur et au liant modifié sont voisins en terme d'ouverture et de position du fuseau au CFL 40 ; par contre, on note un resserrement du fuseau et un premier décile supérieur de 6 points pour les BBTM au bitume modifié, et les courbes du 9<sup>e</sup> décile sont proches et au-dessus de la courbe haute (9<sup>e</sup> décile du fuseau « national 1980 »), au CFL 120.

Ces BBTM sont postérieurs à l'établissement du fuseau « national 1980 ». Ces revêtements modernes sont donc plus performants en adhérence que les anciennes références.

## Exploitation des données

### Comparaison des revêtements de couche de roulement

Les revêtements de couche de roulement présentent de par leur texture très diverse, en relation directe avec leur composition, adaptée à l'épaisseur de mise en œuvre, un niveau d'adhérence extrêmement varié [4]. Les choix des gestionnaires reposent sur les performances évaluées et reconnues en terme de rugosité, de résistance aux déformations, etc. et, aussi, sur le niveau et l'évolution de l'adhérence. La figure 5 présente l'adhérence moyenne correspondant aux principales familles d'enrobés à chaud (fonction des épaisseurs) et des ECF. La comparaison porte sur les formulations 0/10, les plus utilisées, après un trafic cumulé important C4, soit 1 à 5 millions de poids lourds (ou une durée moyenne de service comprise entre cinq à dix ans de trafic autoroutier). On constate que :

- si le coefficient de frottement longitudinal à basse vitesse est identique pour tous les revêtements (à l'exception du BBSG), le coefficient de frottement longitudinal à 120 km/h se hiérarchise en fonction du pourcentage de gros gravillons, donc en fonction de la macrotexture du revêtement, à savoir :

$$\text{BBSG} \ll \text{BBM} < \text{BBUM} = \text{BBTM} = \text{ECF} < \text{BBDr}$$

- l'enrobé drainant BBDr présente la courbe d'évolution la plus plate en fonction de la vitesse ; les courbes des techniques d'enrobés très minces (BBTM et BBUM) sont également assez plates. Cela

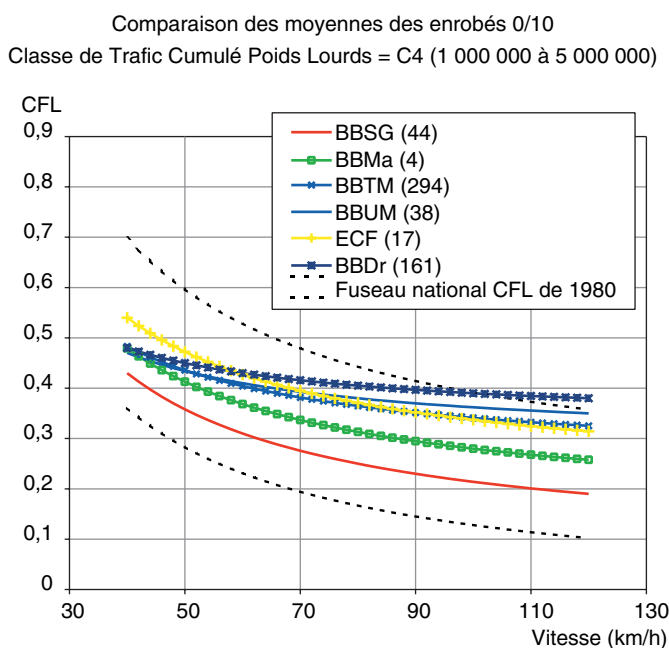


Figure 5  
Comparaison des revêtements en enrobés de calibre 10 mm, pour la classe C4.

s'explique par la texture forte et en « négatif » de ces revêtements présentant une discontinuité bien marquée et un faible pourcentage de sable, mais également par la technique de compactage par des cylindres lisses favorisant une mise à plat des granulats ;

➤ les revêtements les plus influencés par l'effet de la vitesse sont les enrobés épais ou minces (BBSG, BBM). De plus, ils possèdent l'adhérence la plus basse de toutes celles des enrobés, pour toutes les vitesses ; cependant, ces moyennes sont nettement supérieures à la limite basse du fuseau « national 1980 ». Ils conduisent à des niveaux acceptables après une durée de service assez longue ;

➤ les ECF présentent un comportement intermédiaire ; ils ont un niveau d'adhérence très élevé à basse vitesse, une influence marquée de la vitesse (comme les enrobés épais), mais conservent à grande vitesse un niveau élevé (comparable aux BBTM) du fait de leur niveau de départ.

Ces résultats corroborent tout à fait ceux obtenus sur le chantier expérimental de la RN 148 à Fontenay-le-Comte où sur des revêtements de calibres 0/10 ; le classement est strictement identique après 6 ans de trafic (ou 2 millions de PL, C4) :

BBSG << BBTM1 ou continu << BBDr ou BBTM2

Les écarts entre valeurs extrêmes sont respectivement de 5 et 22 points pour les CFL 40 et 120.

### Évolution dans le temps des propriétés d'adhérence

Les ECF et les BBTM sont les revêtements présentant la plus faible évolution au trafic, la décroissance ne représentant en moyenne que 5 et 2 points pour les vitesses de 40 et 120 km/h. À l'opposé, les BBSG et surtout les BBM ont les évolutions les plus marquées. Les autres revêtements BBUM et BBDr possèdent des comportements intermédiaires, mais assez proches de celui des BBTM, surtout si l'on prend soin d'utiliser des gravillons ayant un bon coefficient de polissage accéléré (CPA).

Le tableau XII, donnant les écarts moyens d'adhérence entre un BBTM et un BBSG 0/10, montre que ces écarts augmentent en fonction de l'âge pour les vitesses moyennes à élevées, du fait d'une bonne conservation de la macrotexture des BBTM sous trafic.

**TABLEAU XII**  
Évolution des écarts d'adhérence entre BBTM (aux BmP) et BBSG 0/10 pour les classes C2 à C5

Classe de trafic	C2	C3	C4	C5
CFL 40	8	8	6	6
CFL 80	10	11	13	13
CFL 120	10	12	14	14

Les figures 6 et 7 illustrent l'influence de l'usure sous trafic pour les enrobés épais BBSG 0/14 et les BBTM 0/10 de classe 1 aux liants modifiés. Le choix s'est porté sur les revêtements disposant de données statistiques suffisantes pour l'ensemble des cinq classes de trafic et les plus utilisés sur le réseau principal.

### Influence de la composition des mélanges sur les propriétés d'adhérence

#### Proportion de sable

Si l'on considère qu'en moyenne les pourcentages de sable des BBSG, BBM, BBTM, BBUM et BBDr sont respectivement de 33, 30, 25, 20 et 12 %, on peut évaluer son effet au travers de l'adhérence moyenne aux vitesses de 40, 80 et 120 km/h. La figure 5 permet d'analyser cet effet dans sa globalité ; il n'est pas possible d'isoler un paramètre unique dans la base (données insuffisantes).

On notera que l'influence est fonction de la vitesse : le pourcentage de sable est peu ou pas significatif à 40 km/h ; en revanche, l'adhérence croît fortement avec la réduction de celui-ci pour les vitesses élevées (évolution comparable pour 80 et 120 km/h).

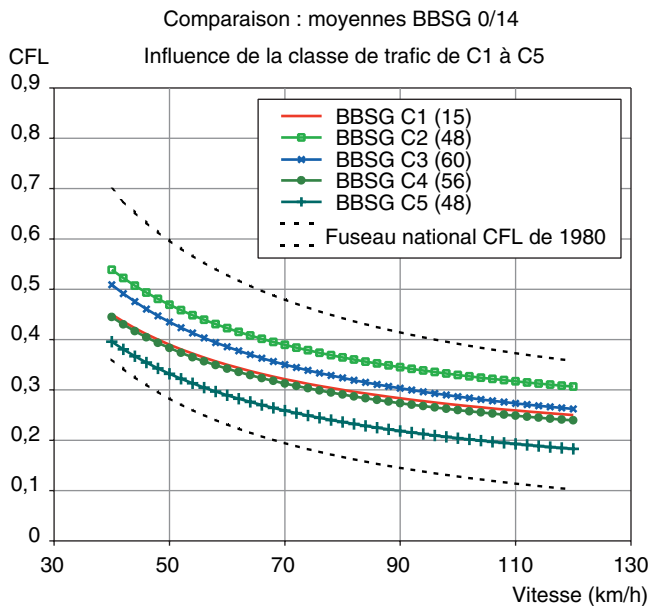


Figure 6

Influence de l'âge (évolution sous trafic C1 à C5) sur les BBSG 0/14.

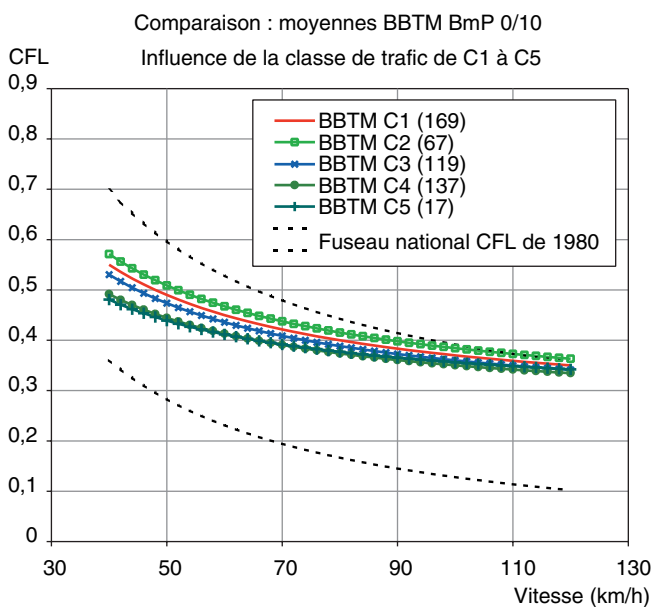


Figure 7

Influence de l'âge (évolution sous trafic C1 à C5) sur les BBTM 0/10.

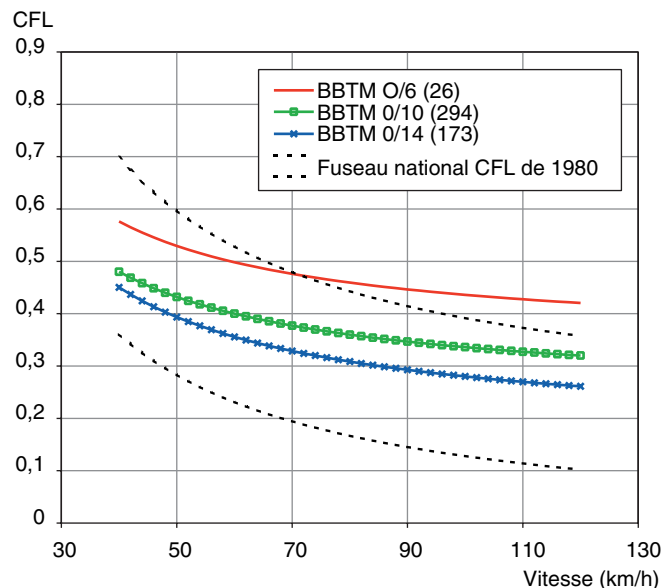
### Calibre de l'enrobé

La figure 8 représente, pour les BBTM au bitume modifié par des polymères, l'influence du calibre de 6, 10 et 14 mm sur l'adhérence du revêtement à un âge moyen, correspondant à un trafic C4.

Quelle que soit la vitesse, le coefficient de frottement longitudinal est d'autant plus élevé que le calibre est plus petit. Cela contredit l'idée que, plus un revêtement est rugueux (à forte macrotecture), plus il est adhérent. Ces performances s'expliqueraient par l'augmentation du nombre de points de contact pneumatique-revêtement avec les 0/6, par le maintien de la texture et, très probablement, par une « régénération » partielle des zones de contact. Les données relatives aux 0/8 mm sont insuffisantes pour statuer sur l'intérêt de développer ce calibre, apprécié dans les pays germaniques (ce serait le calibre optimal pour les propriétés de surface).

Ce constat de l'influence du calibre est également observé pour les BBDr et BBUM, et à un degré moindre pour les ECF. En revanche, pour les BBSG (cf. Fig. 4) et les BBM (en nombre encore trop limité) on relève assez peu de différence entre 0/10 et 0/14.

Comparaison des moyennes des BBTM 6 - 10 - 14 mm  
Classe de Trafic Cumulé Poids Lourds = C4 (1 000 000 à 5 000 000)



**Figure 8**  
Influence du calibre des BBTM de classe 1, pour la classe C4.

### Effet de la nature du liant

Les liants modifiés sont fortement conseillés et utilisés, pour les couches de roulement en faible épaisseur (4 cm et moins), sur les routes où le trafic est agressif (lourd et rapide), dans le but d'améliorer la cohésion de l'enrobé et de réduire le risque d'évolution de la texture de surface sous circulation. Cela se traduit, par exemple pour les BBTM 0/10 aux BmP, par une moindre diminution de l'adhérence sous les forts trafics [5].

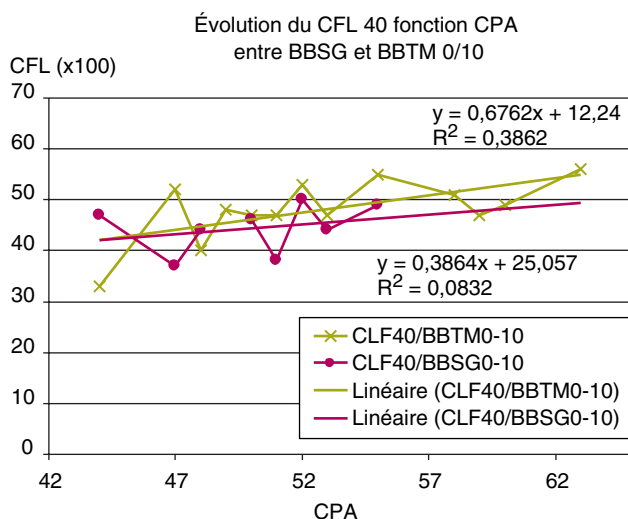
L'analyse de l'évolution des CFL 40, 80 et 120 km/h en fonction de l'âge (C2 à C5), pour les BBTM 0/10 au bitume pur et ceux aux liants modifiés, montre un écart systématique en faveur des liants modifiés. Cette différence s'accroît en fonction de l'usure. Elle devient importante et très significative pour les classes de trafic C4 et surtout C5, notamment pour le coefficient de frottement à vitesse élevée CFL 80 et 120 km/h. L'écart respectif est alors de 10 et 15 points en faveur des liants modifiés (mais les effectifs sont limités à seulement dix-sept individus dans cette classe C5). Il s'explique par le maintien de la texture, au-delà d'une rugosité supérieure à 1,2 mm en hauteur au sable (ou profondeur moyenne de texture (PMT)). Toutefois, ces résultats moyens ne constituent qu'une tendance générale, la dispersion associée à ces résultats étant assez forte (cf. Fig. 4) et, ce d'autant plus que l'on utilise un bitume pur. On notera que les résultats du 9<sup>e</sup> décile sont identiques pour les deux natures de liant (classe C4).

### Influence du coefficient de polissage accéléré (CPA) du granulat

Un certain nombre de chantiers expérimentaux réalisés par l'Administration ont très bien mis en évidence l'importance de la résistance à l'usure par polissage des granulats sur l'adhérence et sa durabilité [6].

On trouvera ci-après quelques exemples de résultats :

- RN 148 Niort, mesure après huit ans (ou 2,5 millions de PL), entre CPA 0,50 et 0,59 ; on relève un écart constant, pour les vitesses de 40 à 90 km/h, de 12 points pour le BBTM 0/10 et de 10 points pour le BBD<sub>r</sub> 0/10 ;
- RN 137 Saint-Fulgent, mesure après sept ans (ou 1,3 million de PL), entre CPA faible 0,47 et fort 0,58 ; on relève, sur un BBTM 0/10 continu, un écart de 13 points en CFL 40 et de 6 points en CFL 90 ;
- A 63 Belin, mesure après huit ans (5 millions de PL), entre CPA 0,44 et 0,54 ; on relève un écart de respectivement 14 et 10 points au CFL 40 et de 7 et 3 points au CFL 120 pour un BBD<sub>r</sub> 0/6 et un BBD<sub>r</sub> 0/10.



**Figure 9**  
Influence du CPA sur le CFL 40 pour les BBSG et BBTM 0/10.

La figure 9 s'intéresse à l'incidence du CPA sur un même calibre 0/10, pour la classe de trafic C4, correspondant à la durée de service généralement attendue, entre les deux revêtements aux comportements et caractéristiques extrêmes : le BBSG et le BBTM. On se place ainsi dans les conditions d'observation optimales.

L'échantillonnage reste limité, tant en terme quantitatif (peu de fiches où le CPA est explicitement mentionné et, surtout, assez peu vérifié) que qualitatif (réalisations d'enrobés dont les granulats sont conformes à la norme, avec souvent acceptation de la règle de compensation ; nature des carrières disponibles, de CPA compris généralement entre 0,47 et 0,55). Il ne faut donc accorder qu'une confiance limitée à l'interprétation statistique de ces résultats, comme en témoigne la très faible valeur du coefficient de corrélation. Il n'y a donc pas de corrélation, mais seulement des lignes de tendance.

L'exploitation de la base de données confirme, par les tendances générales, les résultats des chantiers expérimentaux, en indiquant l'importance du CPA sur le maintien de l'adhérence, notamment pour les basses vitesses.

Les formules « ouvertes » BBTM, BBDr sont plus sensibles à la qualité du granulat que les formules « fermées », notamment pour la basse vitesse, mais en restent encore dépendantes, à un degré moindre, pour les vitesses élevées.

Le CPA pour le BBSG paraît être sans influence pour les vitesses élevées, ce qui semble logique compte tenu de la faible macrotexture de celui-ci.

Une très bonne résistance au polissage du granulat (CPA voisin ou supérieur de 0,50) est particulièrement attendue pour les revêtements à texture ouverte (BBDr, BBTM, BBUM). Cela conduit à un niveau d'adhérence plus élevé, ou encore à une longévité plus grande du revêtement, pour un même seuil limite d'adhérence.

## ACCROÎTRE LE POTENTIEL D'ADHÉRENCE

### Les revêtements à haute adhérence

Compte tenu des conditions de mesures du CFL, il est très difficile de caractériser l'adhérence sur les zones singulières telles que : virage à faible rayon de courbure, tracé très sinueux, giratoires, courte section de décélération, etc. De plus, sur ces zones, l'adhérence transversale devient rapidement prioritaire. Aussi, dispose-t-on d'assez peu de résultats dans la base CARAT sur les revêtements spécialement adaptés à ces situations. Ces revêtements à haute adhérence sont donc davantage caractérisés, soit par des mesures CFT, soit par l'analyse de l'efficacité en terme de réduction d'accident [7].

Ces revêtements à haute performance d'adhérence sont principalement constitués par des enduits superficiels spéciaux. Ils sont caractérisés par l'usage d'un liant à base de bitume-époxy, recouvert par des gravillons artificiels de dimension 3 à 4 mm. Cette technique existe depuis de nombreuses années. Elle a été modernisée par l'application industrielle de la résine au moyen d'une unité spécifique assurant le malaxage et le répandage sur toute la largeur de la voie. Les procédés sont généralement désignés par une extension « grip ».

Il existe également d'autres procédés, tels que des enrobés haute adhérence en couche très mince de calibre 6 ou 10 mm, à base de liant fortement modifié par des polymères et de granulats artificiels.

Le mélange bitume-époxy conduit, après polymérisation, à un liant présentant une grande résistance aux efforts tangentiels et de poinçonnement ainsi qu'aux effets climatiques. Le gravillon artificiel, utilisé pour pérenniser la microrugosité, du fait d'une très grande résistance à l'usure, est généralement obtenu par calcination à 1 600 °C de minerai d'aluminium, la bauxite. La granularité 1/3 mm est la plus usuelle.

Les mesures de CFL sur les enduits à haute adhérence représentent vingt fiches dans le fichier CARAT. Les vitesses sont limitées, en relation avec leur domaine, à 40 km/h. Le tableau XIII rassemble ces résultats. Il met en évidence :

- un excellent niveau du coefficient d'adhérence à basse vitesse, de l'ordre de 0,70 ;
- une grande régularité de l'adhérence ;
- l'absence d'évolution liée au vieillissement du revêtement ou aux effets du trafic.

On ne dispose que de deux résultats sur autoroute où l'on peut évaluer l'effet de la vitesse. Ceux-ci sont strictement identiques et conduisent à une très faible sensibilité de l'adhérence à la vitesse :

CFL 40 : 0,73                      CFL 80 : 0,66      CFL 120 : 0,61

Ces revêtements sont à l'origine du seuil correspondant au CFL 40 du 9<sup>e</sup> décile du fuseau « national 1980 ».

De par leur coût, ils restent d'application limitée aux sections nécessitant un traitement particulier. Ils présentent une très grande longévité. Des sections traitées depuis plus de quinze à vingt ans sont toujours sous circulation, tout en conservant un bon niveau de service. Les résultats de CFT 0,95 (mesure au SCRIM à 60 km/h) et de texture HSc 1 mm (mesure Rugolaser), après cinq ans de service sur chaussée autoroutière, témoignent de performances élevées et confortent les excellents résultats de CFL.

**TABLEAU XIII**  
CFL 40 km/h, sur les enduits à haute adhérence, selon les classes de trafics

Classe de trafic	C1	C2	C3	C4	C5
CFL 40 (moyenne)	73	80	61	69	69
Étendue	63 - 79	77 - 83	60 - 61	65 - 71	68 - 70
Nombre de valeurs	8	2	3	5	2

## L'adhérence au très jeune âge et l'intérêt de la micro-incrustation

L'enrobage à chaud des matériaux bitumineux conduit à recouvrir d'un film de mastic superficiel épais (association bitume et fines) la totalité des granulats. Cela a pour conséquence une très médiocre adhérence de ces revêtements bitumineux au très jeune âge. On peut constater des CFL à basse vitesse (40 km/h) de seulement 0,32 à 0,40 sur un certain nombre d'enrobés drainants ou BBTM, à la mise en service. Cela résulte de l'absence de microtexture. Les enrobés à texture ouverte négative, comme les bétons bitumineux drainants BBDr, les bétons bitumineux très minces BBTM et les ultraminces BBUM sont encore plus sensibles à cet effet. Leur technique de compactage conduit à une mise à plat des granulats ; le liant utilisé est généralement un bitume modifié par des polymères et il s'ensuit une durée plus longue de décapage de ce film de liant d'enrobage. Cette durée varie de quelques mois à un an, selon le niveau de trafic et la composition de l'enrobé.

La micro-incrustation vise à supprimer ce défaut en apportant en surface, dès la mise en œuvre, les micro-éléments correspondants à la microtexture qu'offriront les granulats après décapage par le trafic. Le principe a été imaginé et décrit par le LRPC d'Angers en 1991, dans le cadre d'études sur la problématique « granulats-adhérence ».



Il consiste à incruster, dans le film de mastic bitumineux superficiel de l'enrobé, des éléments très fins offrant aux pneumatiques la microtexture dont les enrobés (et notamment les BBDr et BBTM) sont dépourvus pendant les premiers mois de circulation. Le répandage d'éléments fins (dimension comprise entre 0,1 et 0,3 mm) à la surface de l'enrobé encore chaud, suivi d'une passe de compacteur, assure l'incrutation dans le mastic superficiel. Le dosage en sable est de l'ordre de 300 g par mètre carré.

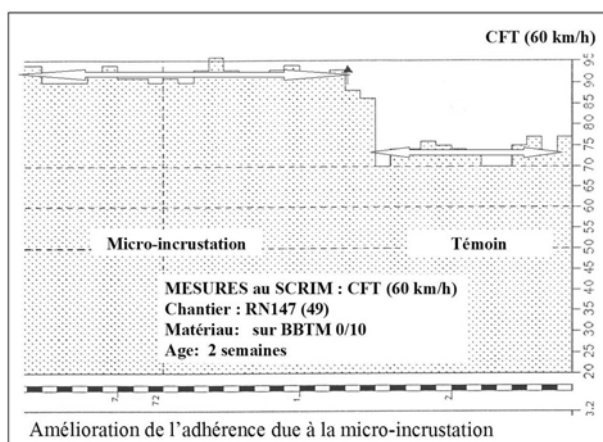
Les moyens techniques d'application du procédé proviennent d'initiatives d'entreprises. Un test a été effectué avec succès en 1994 sur un BBDr (Fig. 10). Un matériel spécifique s'adaptant sur un finisseur pour réaliser la micro-incrustation sur BBTM ou BBDr de route à 2 x 2 voies de circulation (routes où ces techniques de haute adhérence sont le plus souvent utilisées) a ainsi été conçu et mis au point. Le matériel développé pour le répandage de sable à très faible dosage repose sur un nouveau concept d'appareil à soles tournantes adapté au montage sur tout type de finisseur. Ce matériel a été testé sur deux planches expérimentales lors de l'application de BBDr et BBTM aux liants modifiés sur des routes nationales

Les très bons résultats d'adhérence, de texture et de perméabilité pour les BBDr, obtenus au très jeune âge et durant la première année de service, montrent que les performances de surface sont atteintes dès la fin de la mise en œuvre (cf. les mesures de CFT sur BBTM (Fig. 11) CFL à différentes vitesses (Fig. 12) sur BBDr, avec et sans micro-incrustation) [8, 9].

La technique de la micro-incrustation est donc bien au point et répond aux objectifs de sécurité des revêtements au jeune âge. Le matériel a fait l'objet d'un certificat de la charte de l'innovation, reconnaissant l'aptitude du matériel à répondre à l'amélioration de l'adhérence des enrobés neufs et, plus spécialement, à ceux des BBTM et BBDr. Le coût estimé de cette micro-incrustation est faible : environ 0,55 €/m<sup>2</sup> (estimation 2001), en comparaison du gain d'adhérence obtenu. Ainsi, dès la mise en service, l'adhérence correspond à celle atteinte après décapage par le trafic.

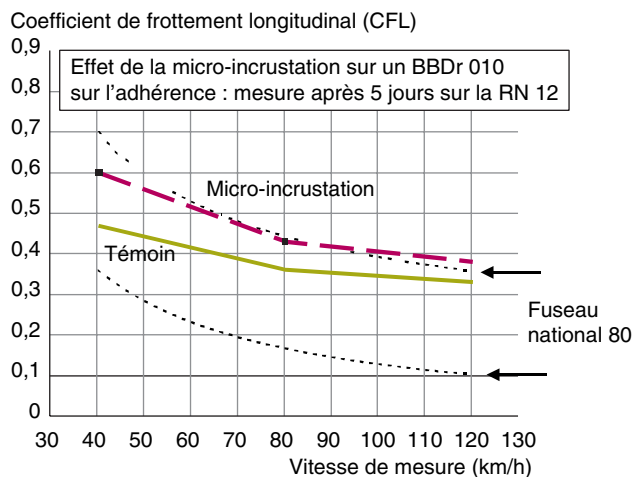


□ **Figure 10**  
Mise en œuvre d'un BBDr 0/10 sur une 2 x 2 voies (RN 12, département de l'Ille-et-Vilaine).



□ **Figure 11**  
Adhérence CFT (SCRIM, vitesse 60 km/h), après deux semaines en service, sur BBTM 0/10, avec et sans micro-incrustation.

□ **Figure 12**  
Adhérence en CFL, à la mise en service,  
sur BBDr 0/10 avec et sans micro-  
incrustation.



Le procédé de micro-incrustation résout efficacement le manque d'adhérence parfois important relevé sur tous les enrobés au jeune âge, sans altérer les autres caractéristiques de surface. La question qui reste posée concerne l'extension de la micro-incrustation aux enrobés neufs autres que les BBTM et BBDr.

## LES TENDANCES ACTUELLES DANS LE CHOIX DES REVÊTEMENTS ET LES PERSPECTIVES

86

### Les tendances

#### Combinaison adhérence et revêtements peu bruyants

Le bruit constitue une des principales gênes ressenties par la population. Aussi, face à l'urbanisation croissante et au développement des infrastructures routières urbaines, les ingénieurs routiers ont conduit, depuis près de quinze ans, des recherches pour réduire le bruit de roulement pneu-chaussée qui constitue la principale source de bruit dès que la vitesse atteint plus de 50 km/h. La constitution d'une base de données sur les résultats des mesures de bruit a permis, comme pour les performances d'adhérence, de hiérarchiser les revêtements par grande famille [10, 11].

Les recherches ont conduit au développement de deux familles de revêtements limitant le bruit de roulement :

- les enrobés drainants (BBDr) ;
- les enrobés très minces à fine granularité (BBTM classe 2 notamment).

Ces revêtements présentent également d'excellentes propriétés d'adhérence.

Toutefois, les revêtements à forte porosité interne communicante, comme les enrobés drainants, voient leurs performances acoustiques diminuées sous l'effet plus ou moins rapide du colmatage par la pollution et le trafic. Ces revêtements BBDr 0/10, voire 0/6 (moins bruyant et pas plus sensible au colmatage) sont donc principalement employés en rase campagne ou en site périurbain sur le secteur autoroutier.

Des enrobés peu bruyants bien adaptés aux conditions urbaines : faible épaisseur, d'application facile et rapide, bien homogènes, se sont progressivement développés [12]. Le profil type de ces enrobés « acoustiques » peut être décrit de la façon suivante :

- un calibre réduit : 10, 8 ou mieux 6 mm, pour limiter l'émission de bruit ;
- une porosité importante, pour favoriser l'absorption du bruit, obtenue par une formulation discontinue bien marquée, comportant un faible pourcentage de sable (entre 15 et 25 % et, plus généralement, proche des 20 %) ;
- une épaisseur limitée, pour réduire l'effet du colmatage, soit des épaisseurs généralement très faibles (moins de 3 cm) ;



► un matériau bien stable et peu sensible aux sollicitations mécaniques, pour une bonne pérennité ; il est obtenu le plus souvent par l'emploi de bitume modifié par des polymères, présentant de bonnes propriétés d'élongation et une moindre susceptibilité thermique, autorisant des dosages élevés (compris entre 5,0 et 5,8 % pour les formulations BBTM 0/6).

Ces enrobés peuvent être regroupés, pour la plupart, parmi les BBTM de classe 2 de la norme XP P 98-137.

Le calibre le plus courant en milieu urbain pour réduire le bruit et les distances d'arrêt et pour améliorer l'homogénéité est sans conteste le 6 mm.

Certains produits spécialement développés par les entreprises routières pour des applications anti-bruits, couverts par des brevets, comportent des additifs particuliers incorporés dans les enrobés ou substitués aux granulats. C'est ainsi que des gravillons artificiels, à texture vacuolaire, provenant de la sidérurgie, remplacent les gravillons naturels. De même, des particules broyées de caoutchouc provenant du déchappage de pneus usagés peuvent être incorporées en remplacement de 1 à 4 % de gravillon. Des ajouts divers sous forme de particules fibreuses sont également utilisés. La rugosité et l'adhérence de ces revêtements sont particulièrement élevées et durables.

### **Adaptation des couches de roulement aux sites et à la demande d'adhérence**

En milieu urbain, on constate un fort développement des techniques ECF, principalement dans les rues et les boulevards. Ce revêtement présente un bon compromis pour les caractéristiques de surface en conjuguant un bon niveau d'adhérence (notamment aux basses vitesses), un faible niveau de bruit et une grande facilité d'application, sans gêne significative pour l'utilisateur. Les machines de répandage et les formulations variées (monocouche, bicouche, calibre 6, 8 et 10 mm, avec et sans discontinuité, liants modifiés et additifs) permettent de nombreuses adaptations de cette technique très bien maîtrisée par les entreprises. Les surfaces ont connu une très forte évolution, durant ces cinq dernières années, pour passer de quelques millions de mètres carrés à près de 27 millions en 2004.

De même, on observe une utilisation importante des BBTM à fine granularité 0/6, ou des enrobés à faible niveau acoustique, sur les boulevards urbains et surtout sur les voies express périphériques des grandes villes, permettant de réduire le bruit de roulement et d'améliorer l'adhérence. L'exemple du périphérique nantais (2 x 2 voies sur 32 km) est une bonne illustration de la situation. Il a été recouvert en majeure partie par un BBTM 0/6, l'objectif étant en phase d'entretien de le recouvrir en totalité par cette technique.

Le revêtement par excellence pour l'entretien des chaussées d'autoroute est, depuis maintenant plus de vingt ans, le BBTM 0/10 classe 1. Il offre une très bonne durabilité des propriétés de surface en très faible épaisseur. Cela a été rendu possible par le choix de structures à longue durée de vie et par l'adoption du concept de différenciation des couches de chaussées, dans lequel la couche de surface n'assure plus que les seules fonctions de roulement. Ainsi, les aspects de résistance mécanique et, notamment, de résistance à l'orniérage et au cisaillement sont résolus par les couches sous-jacentes [13].

Lorsque le contexte le nécessite, l'usage d'enrobés permettant d'améliorer la visibilité par temps de pluie est fréquent. On a alors recours, soit aux enrobés drainants traditionnels en 4 cm, souvent 0/10, mais également 0/6 pour rehausser les niveaux d'adhérence (cas de l'A 84 en Normandie sur plus de 100 km), soit aux BBTM classe 2, présentant des compositions assez voisines de celles des BBDr, appliqués en 2 cm d'épaisseur.

En rase campagne, sur les routes supportant un trafic assez important, les ECF 0/6 et les BBUM 0/6 assurent un bon renouvellement des couches de surface en optimisant le confort et la sécurité de roulement. Des campagnes annuelles sont organisées par certains Conseils généraux pour l'entretien des chaussées selon ces deux techniques, en remplacement des campagnes d'ESU.

Toutefois, sur le réseau des routes secondaires, la technique des enduits (ESU) reste la plus utilisée, car elle permet d'imperméabiliser et d'offrir une excellente drainabilité et une bonne adhérence, au moindre coût. Les formulations se sont encore diversifiées pour s'adapter au contexte ; on a vu ainsi se développer avec succès les enduits à fines granularités, comme le MC 4/6 ou MCDG 6/10-2/4, notamment dans la traversée de certains villages.

### **Perspectives**

L'inventaire des techniques de surface apparaît suffisamment étendu pour que l'on puisse choisir les revêtements les mieux adaptés. Cependant, il subsiste des points singuliers, délicats à traiter, comme les giratoires et les tracés sinueux très accidentés et dangereux, où les revêtements conventionnels ne

sont pas suffisamment efficaces et durables. L'usage de revêtements à haute adhérence, comme ceux décrits ci-avant, est nécessaire pour éviter les renouvellements trop fréquents. Les techniques existent et certaines ont fait la preuve de leur efficacité. De nouveaux développements et applications sont attendus dans les prochaines années.

De même, l'amélioration de l'adhérence au jeune âge des revêtements neufs peut être résolue par le procédé de la micro-incrustation, voire celui du décapage du film de liant par procédé mécanique (grenailage ou hydrodécapage). Il semble que ces techniques, et notamment celle de la micro-incrustation (plus facile à mettre en œuvre), ne soient pas suffisamment connues des gestionnaires, car elles ne sont pas utilisées actuellement. La technique de micro-incrustation est au point, notamment pour les techniques dites à haute adhérence (BBTM, BBD<sub>r</sub>), et permet d'avoir, dès la remise sous circulation, le même niveau de performance qu'en service. On peut penser qu'à court terme, il sera fait un usage plus fréquent, voire systématique, de cette technique sur les itinéraires à vitesse élevée, plutôt que de limiter la vitesse des usagers dans les premiers mois suivant le renouvellement de la couche de surface.

D'année en année, le trafic routier ne cesse d'augmenter. La saturation est souvent atteinte sur les axes structurants du réseau international ou sur les réseaux périphériques des grandes agglomérations. Il devient de plus en plus difficile de pouvoir interrompre la circulation pour procéder à l'entretien des réseaux. Aussi, les scientifiques et les techniciens travaillent dans le cadre d'un projet international (NR2C) à concevoir des chaussées à très longue durée de vie (cinquante ans). Cela signifie qu'il faut rechercher des couches de surface qui soient peu sensibles aux effets d'usure mécanique par frottement. Des nouveaux matériaux, faisant appel à des matériaux artificiels noyés dans un mortier spécial, sont actuellement à l'étude. L'objectif attendu serait de ne régénérer ces nouvelles couches de surface qu'en milieu de durée de vie de l'ouvrage. On peut penser que ces techniques, très coûteuses à la construction, pourraient permettre de maintenir en service les axes routiers vitaux à nos économies, tout en offrant les garanties de sécurité nécessaire, notamment en matière d'adhérence. Il faut se rappeler qu'aujourd'hui, l'entretien des chaussées des pays industrialisés concerne majoritairement le renouvellement des caractéristiques d'adhérence.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] TAVERNIER J., ROBILLARD A., Des politiques innovantes du point de vue économique, environnemental et services à l'utilisateur, *Revue générale des routes et autoroutes*, **815**, mars 2003, pp. 32-34.
- [2] BELLANGER J., Adhérence des revêtements routiers, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **185**, mai-juin 1993, pp. 129-137.
- [3] GOTHIE M., Mesures de l'adhérence des chaussées et leur interprétation, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, Spécial adhérence 2005.
- [4] STASSE G., *Caractérisation d'adhérence de revêtements de chaussées routières*, Études et recherches des LCPC, **CR 25**, mars 2000, 200 pages.
- [4] BROSSEAUD Y., DELALANDE G., Performances d'adhérence des revêtements sur les chaussées françaises, *Congrès Surf 2000*, Nantes, (France), 2000, pp. 259 - 270.
- [6] LÉDÉE V., DELALANDE G., DUPONT P., Adhérence et granulats, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, Spécial adhérence 2005.
- [7] GERONDEAU Ch., L'innovation routière du point de vue de l'utilisateur, *Revue générale des routes et autoroutes*, **815**, mars 2003, pp. 25-27.
- [8] DELALANDE G., DUPONT P., BELLANGER J., Optimisation de l'adhérence : la micro-incrustation, *Revue générale des routes et autoroutes*, **728**, avril 1995, p. 32 et p. 34.
- [9] DELALANDE G., DUPONT P., BELLANGER J., Optimisation de l'adhérence : la micro-incrustation, *Revue générale des routes et autoroutes*, **740**, mai 1996, p. 66.
- [10] BÉRENGIER M., ANFOSSO-LÉDÉE F., L'efficacité des revêtements routiers pour la réduction du bruit de trafic – État de l'art en France, *PIARC/AIPCR Congrès*, Kuala Lumpur, Malaisie, 1999.
- [11] DULAU B., DOISY S., HAETTEL J.-P., Mesures « au passage » du bruit de contact pneumatique/chaussée : méthodologie, application à l'évaluation des performances acoustiques des revêtements routiers, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, **224**, janvier-février 2000, pp. 73-86.
- [12] BROSSEAUD Y., ANFOSSO-LÉDÉE F., Les revêtements de chaussées limitant le bruit de roulement, exemple de partenariat entre l'administration et les entreprises routières françaises, *Congrès INFRA 2001*, CERIU, Montréal, Canada 2001.
- [13] BROSSEAUD Y., BRÛLÉ B., Panorama des couches de roulements des principaux réseaux routiers français : évaluation de leurs caractéristiques de surface, *44<sup>e</sup> congrès annuel de l'Association technique canadienne du bitume*, Québec, novembre 1999.

## ANNEXE

### Influence de la série de fabrication sur la mesure du coefficient de frottement longitudinal

Les constituants de la gomme du pneumatique de mesure ont une influence sur les pertes d'énergie par hystérésis et, en conséquence, sur la valeur du coefficient de frottement. Ce facteur très sensible a été constaté lors du changement de fabricant du pneumatique lisse AIPCR pour la série 1998. Des dispositions, dans le protocole de mesure et dans l'exploitation des résultats, ont été prises durant la période transitoire dite « de changement de pneumatique » (du 1<sup>er</sup> janvier 2002 au 31 décembre 2003), pour conserver les références passées.

Préalablement, à l'utilisation systématique de la série 1998, de très nombreuses mesures d'adhérence réalisées en double ont permis de déterminer des corrélations pour passer d'une mesure à l'autre.

$$\text{CFL } 98 = 0,92 \times \text{CFL } 90 - 0,14 \times \text{P90} + 0,13 \times \text{CFL } 90_{40} - 0,02$$

$$\text{CFL } 90 = 0,99 \times \text{CFL } 98 + 0,18 \times \text{P98} - 0,29 \times \text{CFL } 98_{40} + 0,12$$

Avec : CFL 98 ou CFL 90 : CFL mesuré avec pneumatique série 1998 ou 1990

P90 ou P98 pente de la courbe CFL 90 = f(V) ou CFL 98 = f(V) entre 40 et 90 km/h

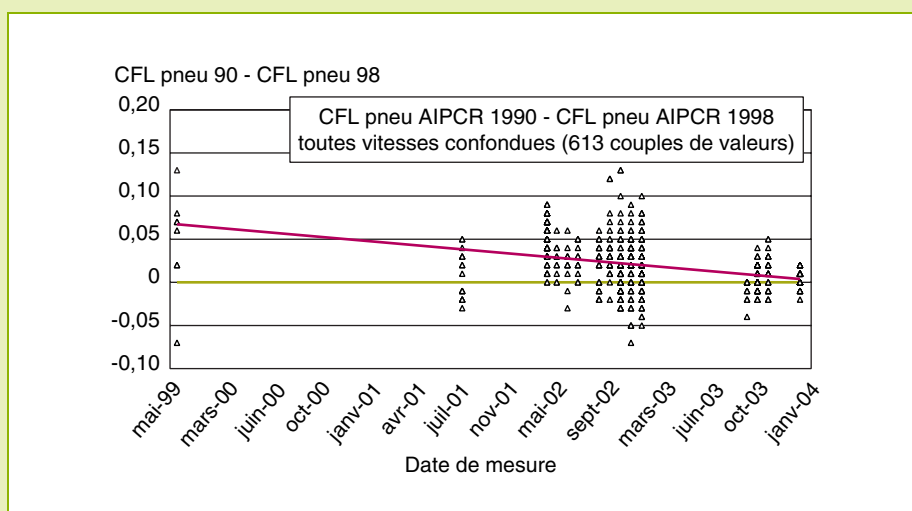
CFL 98<sub>40</sub> ou CFL 90<sub>40</sub> = CFL 98 à 40 km/h ou CFL 90 à 40 km/h

Les CFL sont exprimés en centièmes

$$P = \frac{\text{CFL}_{40} - \text{CFL}_{90}}{50} \times 100$$

La présentation des résultats de mesure s'effectuait par comparaison avec le fuseau de 1980 (incluant l'ensemble des revêtements représentatifs du réseau à cette époque), dont les valeurs ont été corrigées en fonction des lois de corrélation établies entre les deux séries de pneumatique qui a été utilisé comme référence, jusqu'au 31/12/2003.

Pendant cette période, un grand nombre de mesures ont été spécialement doublées avec les deux pneus afin d'affiner au mieux les discontinuités dues au pneumatiques. Une analyse de l'évolution des différences [(CFL pneu 1990)-(CFL pneu 1998)] en fonction du temps a montré la convergence des résultats obtenus avec les pneumatiques des deux séries (Fig. A1). Cette analyse a été réalisée sur l'ensemble des revêtements représentatifs des chaussées actuelles couvrant toute la gamme des niveaux d'adhérence, pour toutes les vitesses.



□ **Figure A 1**

Évolution de l'écart CFL pneu 1990 – CFL pneu 1998.

Cette évolution des valeurs de CFL est conforme à l'étude préalable du comité 1 de l'AIPCR concluant à l'évolution dans le temps de la dureté du mélange de gomme utilisé pour fabriquer ces pneus d'essais. Ainsi, après cinq ans, les pneumatiques de la série 1998 ont atteint les niveaux de dureté du pneumatique de la série 1990 et fournissent donc des résultats d'adhérence comparables.

Une note d'information (mars 2004) a officialisé, auprès du Réseau Technique du Ministère de l'Équipement, l'usage des CFL déterminés avec les pneumatiques AIPCR de la série 1998 sans corrections et l'utilisation des fuseaux tous revêtements et par nature, de revêtement établis précédemment avec le pneumatique de la série 1990.

Ainsi, la mesure de l'adhérence par le coefficient de frottement requiert une grande maîtrise métrologique et la prise en compte de chaque facteur d'influence, afin d'obtenir un résultat cohérent et représentatif d'une situation, sans oublier les variations inéluctables liées aux variations saisonnières du revêtement dans son environnement et aux incertitudes de toute mesure comme la répétabilité de l'essai.