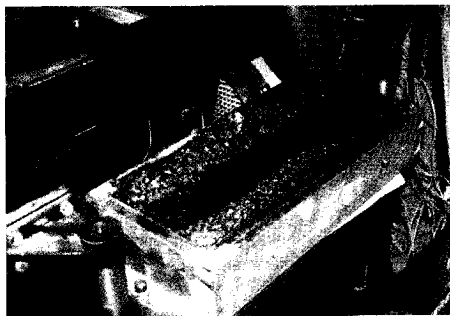


Étude de sensibilité aux déformations permanentes de bétons bitumineux européens et japonais par l'orniéreur LPC



RÉSUMÉ

La méthodologie française de formulation des enrobés à chaud repose sur l'étude en laboratoire de leurs propriétés mécaniques et de leur comportement. Dans ce contexte, l'orniéreur LPC est employé depuis plus d'une vingtaine d'années pour vérifier la conformité des enrobés vis-à-vis d'une résistance minimale aux déformations permanentes. L'essai d'exactitude a montré la bonne répétabilité et reproductibilité de cet essai. Des recherches prénormatives sur une gamme étendue d'enrobés européens et des études sur l'optimisation de composition d'enrobés japonais ont permis d'apprécier toutes les potentialités offertes par l'appareil. Celui-ci est capable d'établir des classements bien différenciés de sensibilité à l'orniérage selon la température choisie de l'essai en fonction des conditions locales du site et suivant la composition particulière de l'enrobé (nature et formulation des constituants). Il permet aussi d'étudier l'influence des paramètres de composition et ainsi d'améliorer le comportement à l'orniérage des enrobés quelle que soit l'origine des matériaux.

MOTS CLÉS : 31 - Enrobé chaud - Déformation - Sensibilité - Ornière - Appareil de mesure - Composition du mélange - Mécanique - Caractéristiques - Comportement - Essai - Europe - Japon - Norme - Liant - Résistance (matér.).

Yves BROSEAUD
Ingénieur de recherche
Section Liants et matériaux routiers
Division Matériaux et structures de chaussées
Laboratoire central des Ponts et Chaussées
Centre de Nantes

René HIERNAUX
Groupe Chaussées
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées
de Saint-Quentin

Introduction

Cet article rappelle :

- les modalités de l'essai à l'orniéreur LPC et l'interprétation des résultats,
- les résultats de l'essai d'exactitude,
- les spécifications de résistance à l'orniérage des enrobés français.

Il présente :

- les possibilités de différenciation du comportement de divers matériaux français et anglais étudiés lors d'une étude comparative entre les orniéreurs français et anglais,
- les résultats d'essais sur treize formules d'enrobés européens étudiés à l'orniéreur LPC, dans le cadre d'une étude prénormative sur les essais d'orniérage,
- la vérification du comportement à l'orniéreur de trois enrobés japonais utilisés sur autoroutes, en couche de roulement mince, ainsi que l'adaptation de ces formules à l'aide des outils français de formulation.

Rappels sur l'essai d'orniérage, spécifications françaises sur les enrobés

L'essai d'orniérage [1]

L'étude de la résistance aux déformations permanentes par l'orniéreur LPC consiste à suivre l'évolution de la profondeur d'ornière d'une plaque d'enrobé (50 × 18 × 10 ou 5 cm d'épaisseur selon que l'épaisseur de la couche sur chantier est supérieure ou inférieure à 5 cm) après différents nombres de cycles de sollicitation (30 à 30 000 voire 100 000 cycles).

La sollicitation consiste en un passage répété (fréquence 1 Hz) d'une roue chargée à 5 000 N, équipée d'un pneumatique gonflé à 600 kPa. L'enceinte climatique est régulée pour maintenir la température avec une précision de $\pm 2^\circ \text{C}$ dans une plage de 45 à 70° C.

La température d'essai est fixée à 60° C pour tous les matériaux bitumineux français.

Le résultat de l'essai est représenté par une courbe d'évolution de la déformation. Celle-ci s'exprime en pourcentage d'ornièrisme rapporté à l'épaisseur de la plaque.

L'essai est normalisé (norme **NF P 98-253-1**) depuis juillet 1991.

L'étude d'exactitude [2]

La conduite de l'essai d'exactitude s'est faite en conformité avec les dispositions de la norme ISO 5725. L'essai a regroupé douze participants de diverses sociétés et de l'Administration.

Le matériau sélectionné était un enrobé semi-grenu 0/10 Cusset (matériau basaltique-concassé), de granularité continue, conforme à la norme **NF P 98-130**. Il est bien représentatif des matériaux utilisés sur les chaussées à fort trafic, sa résistance en place est satisfaisante.

Le but poursuivi étant la validation de la procédure de l'essai d'ornièrisme, les autres causes de variabilité des résultats ont été limitées. Ainsi, tous les échantillons ont été préparés par un même laboratoire, selon la méthode normalisée pour la fabrication (norme **NF P 98-250-1** avec un malaxeur à palettes verticales et cuve mobile) et pour le compactage des plaques (norme **NF P 98-250-2** avec un compacteur LPC pneumatique automatisé). Toutes

les plaques présentaient la même teneur en vides à 1 % près (pourcentage de vides moyen de 7 %). Elles ont été auscultées au banc gammadensimétrique (norme **NF P 98-250-5**).

Le résultat d'un essai à l'ornièrisme est la moyenne de deux déterminations. Chaque laboratoire a réalisé quatre essais. L'analyse statistique des résultats d'essais conduit, au sens de la norme ISO 5725, à 30 000 cycles, pour une profondeur d'ornièrisme de 7 % à :

- une répétabilité de 1,11 %,
- une reproductibilité de 1,16 %.

Ces résultats en termes de fidélité de l'essai paraissent très satisfaisants. Ils permettent de bien caractériser des matériaux de même comportement et de différencier les différentes classes de performances (tableau I).

Les spécifications françaises

Suivant la nature des enrobés et leur position dans la structure de chaussée, les spécifications portent sur des profondeurs maximales d'ornièrisme de 5, 8, 10, 15 et 20 % pour des nombres de cycles variant de 3 000 à 30 000 (cf. tableau I).

Ces spécifications à l'ornièrisme définissent des classes de performances d'enrobés et correspondent à des domaines d'emploi bien spécifiques et identifiés [3] et [4].

Le guide d'application des normes [5] précise les cas où l'essai d'ornièrisme doit être demandé. D'une manière générale, pour les couches de roulement, l'essai est obligatoire dès que le trafic journalier est supérieur à 300 poids lourds par voie, ou lorsque l'on utilise une granularité discontinue, un sable roulé ou un sable broyé.

TABLEAU I
Classes de performances des enrobés français, normalisés

Enrobé	Classe		
	Sans ou 1	2	3
Béton bitumineux module élevé (BBME)	10 % à 30 000 cycles	8 % à 30 000 cycles	5 % à 30 000 cycles
Béton bitumineux semi-grenu (BBSG)	10 % à 30 000 cycles		
Béton bitumineux mince type a (BBMa)	(*)	15 % à 3 000 cycles	15 % à 10 000 cycles
Béton bitumineux mince type b, c, d	(*)	15 % à 3 000 cycles	
Béton bitumineux clouté 0/10	10 % à 30 000 cycles		
Béton bitumineux clouté 0/6	10 % à 30 000 cycles		
Béton bitumineux souple (BBS) 0/10	(*)		
Grave-bitume (GB)	10 % à 10 000 cycles		
Enrobé à module élevé (EME)	8 % à 30 000 cycles		

(*) Il n'existe pas de spécification particulière, soit parce que le matériau est inadapté pour résister à l'ornièrisme (cas des enrobés souples pour structure à forte déflexion), soit qu'il n'existe pas de valeur significative (cas des bétons bitumineux très minces).

Essais comparatifs sur matériaux français et anglais avec les orniéreaux LPC et du TRL

Dans le cadre d'une action prénormative européenne, une étude comparative entre les orniéreaux français (LPC) et anglais (Transportation Research Laboratory - TRL) a été réalisée [6], dans le but d'établir quelques éléments techniques sur la sélectivité des matériels et sur d'éventuelles relations entre les résultats de ces deux essais.

L'étude s'est faite sur trois bétons bitumineux (BB) français bien représentatifs de comportements très différents à l'orniérage et sur trois matériaux anglais traditionnels : trois Hot Rolled Asphalt (HRA), différant par le grade du bitume.

La composition des enrobés et l'estimation *a priori* de leur comportement à l'orniérage figurent dans le tableau II.

Comme pour l'essai d'exactitude, la préparation des échantillons (plaque pour le LCPC), cylindre pour le TRL) s'est faite dans un seul laboratoire, selon les procédures normalisées.

Les modalités de compactage ont été ajustées pour parvenir aux pourcentages de vides attendus sur le chantier (enrobé français : 5,5 à 7 % de

vides, HRA anglais : 3,5 à 5 % de vides) et à un même pourcentage de vides des corps d'épreuve testés en France et en Grande-Bretagne.

Les essais à l'orniéreaux LPC ont été réalisés selon la norme et à la température de 60 °C.

Les résultats à l'orniéreaux LPC pour les différents enrobés testés sont récapitulés sur la figure 1.

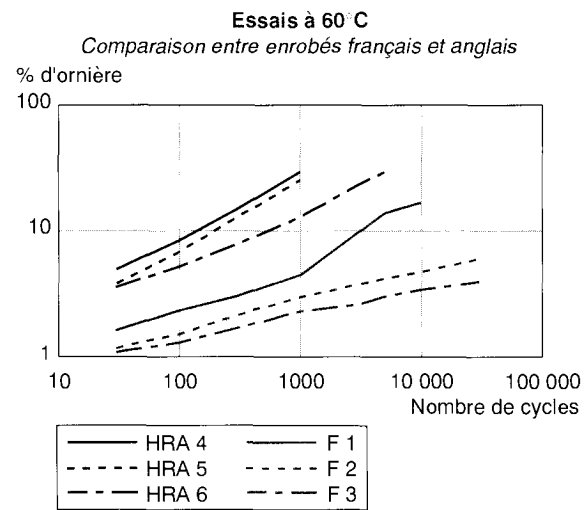


Fig. 1 - Courbes des évolutions d'ornière.

TABLEAU II
Composition - Comportement des enrobés

Matériaux	Français			Anglais		
	F 1	F 2	F 3	HRA 4	HRA 5	HRA 6
Repère	98-130	98-130	98-140	BS594	BS594	BS594
Norme produit	98-130	98-130	98-140	BS594	BS594	BS594
Désignation	BBSG 0/14 (*)	BBSG 0/14	EME 0/14	HRA-F	HRA-F	HRA-F
Composition (%)						
Sable 0/2 Cusset (broyé)	33	-	33	-	-	-
Sable 0/2 Noubleau (concassé)	-	31	-	-	-	-
Sable 0/0,06 Wootton (Fines)	-	-	-	53,5	53,5	53,5
2/6 Noubleau (concassé)	21	22	21	-	-	-
6/10 Noubleau	21	17	21	-	-	-
10/14 Noubleau	23,5	28	23,5	-	-	-
10/14 Bardon Hill	-	-	-	35	35	35
Filler calcaire	1,5	2	1,5	11,5	11,5	1125
Bitume (p.p.c.)	5,5	5,4	5,8	7,2	7,2	7,2
Grade (pénétrabilité en 1/10 mm)	50/70	50/70	10/20	100	70	50
Évaluation du comportement a priori à l'orniérage (**)	Très mauvais	Bon	Excellent	Faible	Moyen	Bon

(*) Matériau non conforme à la norme car résistance à l'orniérage trop mauvaise.

(**) Cette estimation de comportement s'est faite par l'expérience du TRL pour les matériaux anglais et au travers des bilans sur chaussée, complétés par les expériences de fatigue (matériau F 2) et d'orniérage (matériaux F 1 et F 3) sur le manège d'essai du LCPC à Nantes [7] pour les matériaux français.

Le matériau F 2 ne présentait pas d'ornière significative (moins de 4 mm) après un million de charges de 130 kN à 70 km/h. Les matériaux F 1 et F 3 présentaient respectivement 10 et 3 mm d'ornière après 200 000 charges de 130 kN à 45 km/h, mais dans des conditions de température ambiante assez moyenne (20 °C moyenne journalière). Ces comportements s'expliquent par l'emploi d'un sable broyé de mauvaise forme car trop arrondi (matériau F 1) et d'un bitume dur (matériau F 3).

Les commentaires relatifs à ces résultats sont les suivants :

➤ une bonne sélectivité des formulations en fonction de leur sensibilité présumée à l'ornié-
rage (même classement que celui défini *a priori*
par le TRL et le LCPC) ;

➤ pour des bitumes purs, et une formulation gran-
ulométrique identique, le classement à l'ornié-
rage suit la susceptibilité du liant (plus celui-ci est
mou et plus le mélange est orniérant) ;

➤ pour les matériaux français, la différence des
comportements est très bien mise en évidence
par les résultats, tant à 3 000 qu'à 30 000 cycles.
Le classement est en conformité avec le compor-
tement observé, soit sur le manège, soit sur les
routes à fort trafic ;

➤ pour les matériaux anglais HRA, ils sont,
selon les critères français, extrêmement sensibles
à l'ornié-
rage puisqu'ils ne sont conformes à
aucune spécification en matière d'ornié-
rage. Ces
matériaux ne pourraient pas être utilisés sur le
réseau français supportant un trafic moyen à fort.
Toutefois, les différences de comportement entre
les formulations sont quelque peu difficiles à
apprécier. En effet, si le classement par les
valeurs moyennes correspond bien à celui des
grades de bitume, la dispersion est très forte, et
conduit à un chevauchement des résultats indivi-
duels entre les trois formulations.

Aussi, pour pouvoir apprécier une différence de
comportement plus significative sur ces HRA et
pour établir une liaison avec les essais pratiqués
par le TRL à la température de 45 °C, des essais
complémentaires à l'ornié-
rage LPC ont été réa-
lisés à 45 et 50 °C sur la formule française la
plus orniérante (F 1), et sur deux formules HRA
(matériaux HRA 4 et HRA 5). Les résultats de
ces essais sont présentés sur la figure 2.

On constate que :

➤ pour le matériau F 1, une différence de tempé-
rature de 10 et 15 °C conduit à un décalage de la

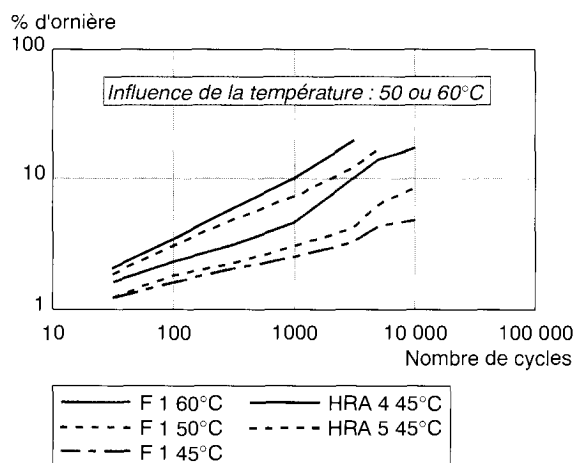


Fig. 2 - Influence de la température d'essai
sur les matériaux sensibles à l'ornié-
rage.

courbe d'un facteur de 10 et 30 sur le nombre de
cycles pour atteindre une même déformation ;

➤ à la température de 45 °C, les matériaux dits
« sensibles » selon les critères français sont très
bien discriminés suivant la nature du liant de
l'enrobé (HRA 4 et HRA 5). Mais cette tempé-
rature s'avère insuffisante pour distinguer les
matériaux (F 2 et F 3) destinés aux routes fran-
çaises à fort trafic.

Parallèlement, on notera que la formulation F 1
ayant le plus mauvais comportement à l'ornié-
rage des formulations françaises se comporte
mieux à 60 °C que la meilleure formulation
anglaise HRA à 45 °C. Cette formule F 1 ne peut
pas être appliquée sur les chaussées françaises
sans présenter des risques importants d'ornié-
rage (problème d'ornié-
rage rencontré sur l'A72). Cet
exemple montre les différences importantes exis-
tant sur les matériaux utilisés et sur les sollicita-
tions supportées actuellement dans les pays
d'Europe.

Comparaison entre enrobés bitumineux européens

L'élaboration du projet de norme européenne
relative aux essais d'ornié-
rage nécessite, entre
autres, que chacune des méthodes d'essai se
réclamant du projet de norme du CEN soit suffi-
samment discriminante pour les principaux types
d'enrobés bitumineux européens. Il faut, en
outre, vérifier la possibilité de définir des spéci-
fications pour ces enrobés. Treize bétons bitumi-
neux ont été étudiés par six laboratoires avec dif-
férents matériels. L'exécution des essais devait
respecter le projet de norme européenne qui,
pour ce qui concerne l'ornié-
rage LPC, est quasi-
ment identique à la norme d'essai française.
Dans le présent article, seuls les résultats obtenus
avec l'ornié-
rage LPC par le Laboratoire régional
des Ponts et Chaussées (LRPC) de Saint-Quentin
seront exposés.

Il serait fastidieux de donner toutes les courbes
granulométriques des fractions élémentaires. Les
courbes granulométriques des recompositions des
enrobés étudiés sont présentées sur la figure 3 pour
les formules de 1 à 6 et sur la figure 4 pour les
formules de 7 à 13. On notera une variété très
importante des courbes granulométriques des
enrobés testés. Parmi ceux-ci, on peut distinguer
quatre groupes :

❶ les **HRA**, comportant une forte proportion de
sable (60 %) dans lequel les gravillons 6/10 se
trouvent complètement noyés ;

❷ les **SMA**, mélanges présentant un dosage
important en filler (10 à 12 %) et une faible dis-
continuité au voisinage de 3 à 6 mm ; la propor-
tion de gravillons est forte (70 %) ;

③ les **BBSG danois**, ayant chacun une granulométrie très différente : la formule 5 est un enrobé fin (0/8) de composition sableuse (50 % de passant à 2 mm) et, à l'opposé, la formule 6 est un enrobé 0/10 très grenu (75 % de gravillons) et comportant un faible dosage en filler (3 %) ;

④ les **enrobés français**, qu'ils soient de type BBSG ou GB. Ces mélanges comportent à peu près la même composition granulométrique (0/14 pour les enrobés ou 0/20 pour la GB), à savoir un dosage en filler de 8 %, en sable de 30 % et en gravillons (dimension supérieure à 6 mm) de 35 % et une courbe bien régulière et continue.

On trouvera, dans le tableau III, les principales caractéristiques des mélanges, ainsi que la nature des liants et leur dosage.

Pour différencier les formules de même type, il faut noter que la formule 1 utilise un gravillon calcaire, et la formule 2 un grès ; toutes deux emploient des sables roulés. Les formules 3 et 4 sont identiques, à la nature du liant près, et comportent l'addition de fibres de cellulose. Les formules 5 et 6 font appel à des granulats granitiques, mais ont des granulométries très différentes. Un sable roulé est ajouté en forte proportion à la formule 5. Les formules 7, 9 et 10 ont la même composition, au liant près. Les formules 8 et 11 se différencient des précédentes par l'emploi d'un sable concassé et non broyé. Enfin, ces formules utilisent des granulats d'une autre nature pétrographique que les précédentes.

Les pourcentages de vides des plaques d'enrobés ont été déterminés par passage au banc gamma-densimétrique, ils sont récapitulés dans le tableau III.

Courbes granulométriques des enrobés testés

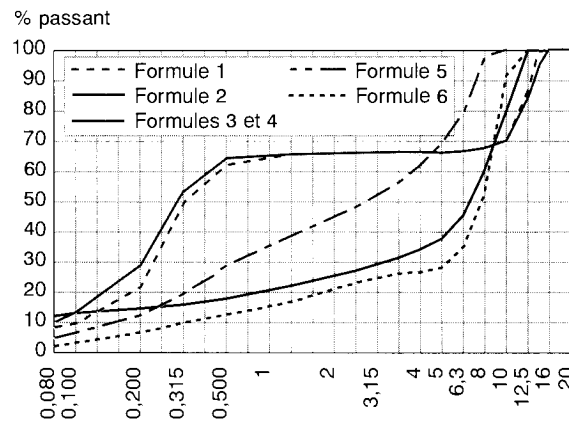


Fig. 3 - Formules de 1 à 6.

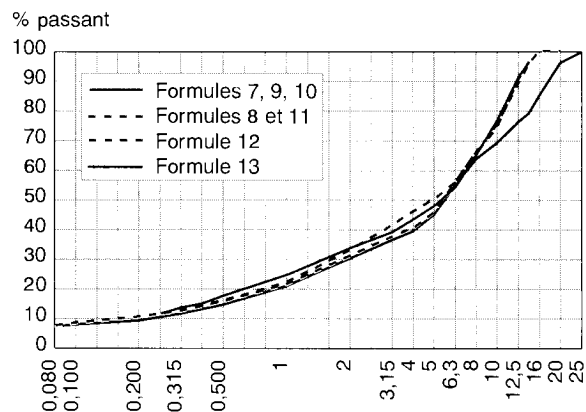


Fig. 4 - Formules de 7 à 13.

TABLEAU III
Caractéristiques des enrobés et des liants

Référence	Origine	Type BB	Particularité	Nature du liant	TBA	% liant	% vides
1	GB	HRA	Faible résistance à l'orniérage	Pur 50 Pen	52,5	7,3	7,3
2	GB	HRA	Forte résistance à l'orniérage	Pur 50 Pen		7,3	5,6
3	D	SMA		Pur B 65	52,5	7,1	2,6
3	D	SMA				7,1	2,6
4	D	SMA	Forte résistance à l'orniérage	PmB 65	54	7,1	2,3
4	D	SMA	Forte résistance à l'orniérage			7,1	2,1
5	DK	BBSG	Europe Nord, faible résistance à l'orniérage	Pur B 180	39	5,6	4,5
6	DK	BBSG	Europe Nord, forte résistance à l'orniérage	Pur B 60	54	5,8	6,4
7	F	BBSG	Europe Sud, faible résistance à l'orniérage	Pur 50/70	51	5,5	3,8
7	F	BBSG				5,5	4
8	F	BBSG	Europe Nord, forte résistance à l'orniérage	Pur 35/50	52,5	5,4	5,1
9	F	BBSG	Europe Nord, forte résistance à l'orniérage	PmB SBS	62	5,3	6
10	F	BBSG	Europe Nord, forte résistance à l'orniérage	PmB EVA	67,5	5,3	4,4
11	F	BBME	Europe Nord, forte résistance à l'orniérage	Pur 10/20	66,5	5,7	4,8
12	F	BBSG	Risque désenrobage, résistant à l'orniérage	Pur 35/50	52,5	5,4	3,6
13	F	GB	Risque désenrobage, résistant à l'orniérage	Pur 35/50	52,5	4	6,7

Les résultats des profondeurs d'ornièrre moyenne et les paramètres de la régression :

$$O = O_{1\,000} \left(\frac{t}{1\,000} \right)^b$$

pour les différentes températures d'essais figurent dans le tableau IV. les courbes d'évolution de l'ornièrre, en fonction du nombre de cycles, font l'objet des figures 5 et 6.

L'étendue des profondeurs d'ornièrre couverte par le plan d'expérience est assez vaste. À 60 °C, les moyennes des profondeurs d'ornièrre mesurées vont de 5,2 % à 30 000 cycles jusqu'à 20 % à 3 000 cycles. À 50 °C, les ornièrres extrêmes observées sont de 61 % à 30 000 cycles et 19,1 % à 3 000 cycles.

Effet de la température d'essai

L'ornièrre rend bien compte de l'incidence de la température d'essai pour le béton bitumineux semi-grenu (BBSG) représentant les formules du Sud de l'Europe sensibles à l'ornièrage (formule 7 à 50 et 60 °C) : une profondeur d'ornièrre moyenne d'environ 6,2 % est atteinte en seulement 100 cycles et en 3 000 cycles à 50 °C. Cet écart est en accord avec les quelques résultats d'essai d'ornièrage connus, réalisés à ces deux températures.

Effet du type de formule

■ **HRA.** Les deux formules (1 et 2) utilisent le même bitume au même dosage ; leurs granularités (discontinues 0,5/8 mm, à fort dosage en sable : 65 %) ne diffèrent que par la teneur en fines : 8,3 et 9,8 %. Les gravillons sont différents : un calcaire et un grès. Les profondeurs d'ornièrre sont encore assez voisines à 1 000 cycles ; à 30 000 cycles, l'écart

entre les deux HRA est notable : près de 5 %. Les deux formules apparaissent trop ornièrables en regard des spécifications françaises relatives aux bétons bitumineux cloutés 0/6 (norme NF P 98-133).

Évolution de la profondeur d'ornièrre, en fonction du nombre de cycles, de différents types d'enrobés bitumineux européens

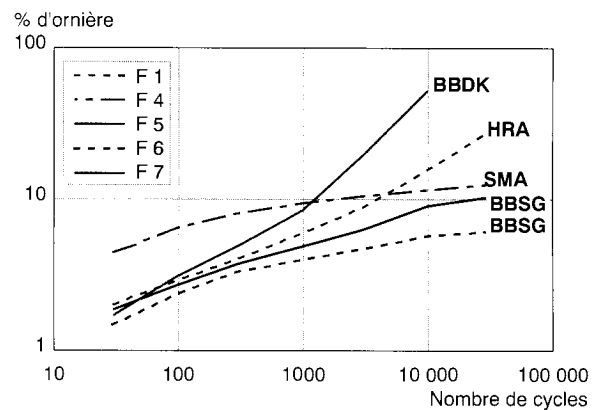


Fig. 5 - Essais à 50 °C.

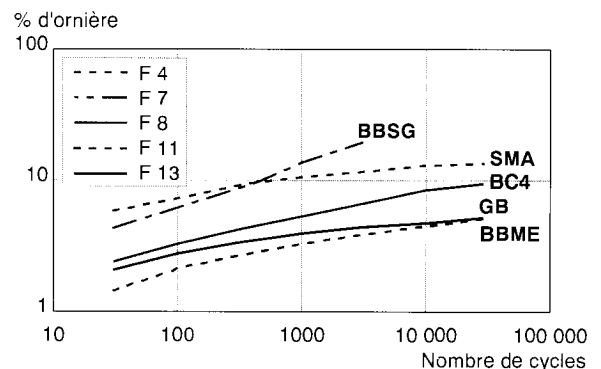


Fig. 6 - Essais à 60 °C.

TABEAU IV
Profondeur d'ornièrre moyenne, paramètres de la régression

Référence	Température essai (°C)	Nombre de cycles							Paramètres de la régression	
		30	100	300	1 000	3 000	10 000	30 000	b	O _{1 000}
1	50	1,9	2,8	3,8	5,8	8,7	15,5	26	0,39	6,2
2	50	1,5	2,4	3,5	5,1	8	13,5	22	0,38	5,5
3	50	5,1	6,6	8,2	9,6	10,7	12		0,12	9,2
3	60	5,9	7,4	8,7	9,7	10,8	12	12,4	0,09	9,5
4	50	4,4	6,4	8,1	9,3	10,2	11,4	12,2	0,11	8,8
4	60	5,9	7,4	9,1	10,5	11,7	12,8	13,5	0,10	10
5	50	1,7	3	4,7	8,3	19,1	50		0,44	8,2
6	50	1,4	2,3	3,2	3,9	4,6	5,5	6,1	0,14	3,9
7	50	1,8	2,7	3,7	4,9	6,2	9	10,2	0,25	4,9
7	60	4,5	6,3	9	13,6	20			0,34	13,7
8	60	2,4	3,3	4,3	5,3	6,6	8,3	9,6	0,18	5,3
9	60	2,1	2,9	3,5	4,2	5,2	8,6	18,7	0,16	4,2
10	60	2,2	3,1	3,8	5	11,8	25		0,23	5,1
11	60	1,5	2,2	2,7	3,4	3,9	4,5	5,1	0,14	3,2
12	60	2	2,7	3,2	3,8	4,3	4,8	5,5	0,12	3,7
13	60	2,1	2,8	3,4	3,9	4,4	4,7	5,2	0,10	3,8

■ **SMA.** Les deux variantes (3 et 4) sont identiques à la nature du liant près. Elles comportent l'addition de fibre de cellulose, leur dosage en fines est élevé : 12 %. Toutefois, les essais traditionnels de caractérisation du bitume montrent des propriétés rhéologiques comparables (écarts de pénétrabilité 14 1/10 mm, TBA 1,5 °C). Ceci peut expliquer l'absence de différences significatives sur les ornières, aussi bien à 50 qu'à 60 °C. L'emploi de fibres pourrait masquer la différence de susceptibilité thermique de ces enrobés. L'allure de la courbe d'évolution de l'ornière est très particulière. Les ornières à 100 cycles sont très fortes, de 6,5 à 7,5 % ; l'approfondissement de l'ornière en fonction du nombre de cycles est ensuite parmi les plus faibles.

■ **Bétons bitumineux du Nord de l'Europe.** La formule la plus sensible à l'orniérage (5) est un 0/8 sableux, mais pauvre en fines (5,4 %). Le liant est particulièrement mou (TBA = 39 °C), la teneur en liant paraît modérée : 5,6 %. Néanmoins, l'essai est maîtrisé à 50 °C, puisque les profondeurs d'ornière atteintes à 1 000 et 3 000 cycles correspondent aux spécifications à 60 °C relatives aux bétons bitumineux cloutés 0/6 de la norme **NF P 98-133**.

L'enrobé le plus résistant aux déformations permanentes (6) est un 0/10 discontinu 2/5 dont le palier de discontinuité est bas : 23 % de passant à 2 mm. La teneur en liant de 5,80 % est forte en regard de la teneur en fines très faible : 2,5 %. Le comportement à 50 °C de cet enrobé est assez proche de celui des meilleurs bétons bitumineux français à 60 °C.

■ **Bétons bitumineux du Sud de l'Europe.** Les deux formules étudiées (7 et 8) sont des bétons bitumineux semi-grenus (BBSG) 0/14 dont les différences sont la nature du sable (broyé ou concassé) et le grade du bitume 50/70 et 35/50.

Le comportement de la formule la plus sensible (7), par l'usage d'un sable broyé de mauvaise forme, est bien celui qui était attendu : ornière à 1 000 cycles et 60 °C d'environ 15 %. Il faut noter que l'allure de la courbe d'évolution de l'ornière à 60 °C n'est pas identique à celle du béton bitumineux du Nord de l'Europe à 50 °C : l'essai se poursuit de façon pratiquement linéaire jusqu'à atteindre 20 % à 3 000 cycles.

À 50 °C, les résultats de la formule 7 sont assez semblables à ceux obtenus à 60 °C avec la formule du Sud de l'Europe, dite résistante à l'orniérage.

Effet de la nature du liant

Sur la base du béton bitumineux du Sud de l'Europe le plus sensible aux déformations permanentes, deux variantes utilisant un bitume + SBS ou un bitume + EVA ont été étudiées (9 et 10).

L'allure des courbes d'évolution traduit l'accélération importante des déformations en début d'essai (durant les 1 000 premiers cycles), déjà constatée avec cette formule et ces types de liant. Néanmoins, les essais rendent compte de l'amélioration due à l'emploi de ces bitumes polymères, puisque la profondeur d'ornière à 1 000 cycles passe de 13,6 % pour le bitume 50/70 à 5,3 % pour le bitume + EVA et 4,2 % pour le bitume + SBS.

Le BBME (11) se distingue du béton bitumineux du Sud de l'Europe le plus résistant aux déformations permanentes, par l'emploi d'un bitume 10/20 (TBA = 66,5 °C) et par une teneur en liant plus forte (+ 0,3 %). L'ornière mesurée à 30 000 cycles est la plus faible : 5 %.

Effet de la nature pétrographique des granulats

La progression de l'ornière en fonction du nombre de cycles suit la même allure pour les deux bétons bitumineux (8 et 12). En revanche, l'ornière atteinte à 30 000 cycles distingue bien les deux formules 8 et 12 : respectivement 10 et 5,6 %. La formule 8 est constituée de granulats d'origine dioritique alors que la formule 12 est à base de granulats de basalte cornéifié. L'essai met bien en évidence l'effet de la nature pétrographique des granulats sur l'orniérage de l'enrobé étudié.

Étude d'influence des paramètres de composition de trois enrobés autoroutiers japonais sur leur résistance à l'orniérage

L'objectif de cette étude était de vérifier, en laboratoire, le comportement, vis-à-vis de l'orniérage, de trois formules d'enrobés appliqués (type A, B et G), depuis quatre à cinq ans, sur les autoroutes japonaises, ceci dans le but de mieux comprendre les raisons à l'origine des nombreux problèmes d'orniérage observés sur le réseau autoroutier du Japon et trouver des solutions économiques adaptées. Aussi, les compositions ont été optimisées au moyen des outils de formulation de la méthodologie française, pour les rendre plus performantes.

Les enrobés testés avaient été étudiés selon la méthode Marshall et devaient conduire à des pourcentages de vides faibles (compris entre 3 et 5 %) pour assurer, en couche de roulement de 4 cm d'épaisseur, une bonne imperméabilisation de la chaussée et une durabilité élevée appréciée dans la méthode Marshall par une teneur en vides proche de 4 %. Les formules, leur composition granulométrique, les teneurs en vides mesurées sur les plaques d'orniéreur de 5 cm d'épaisseur, et leur domaine d'emploi sont récapitulés dans le tableau V.

TABLEAU V
Formules japonaises et françaises. Compositions étudiées, caractéristiques, domaine d'emploi

Formule	Nature du liant	% liant	Recomposition granulométrique					% vides plaque 5 cm	Domaine d'emploi
			Tamis (mm)		Passant (%)				
			0,08	2	4	6	10		
Japonaise									
Type A	40/60	6,3	10	40	62	78	96	6,5	+ 3 000 poids lourds par jour, pas d'effort de cisaillement, Sud du pays + 3 000 poids lourds par jour, pas d'effort de cisaillement, Nord du pays Zone très sollicitée : pente > 3 %, rayon faible < 700 m
Type B	60/80	6,4	10	42	62	78	96	7,5	
Type G	Modifié SBS	5,7	12	36	50	70	94	9,5	
Française									
Adaptation des formules japonaises par la méthode française									
BBSG J	40/60	5,6	8	35	50	61	90	8	
BBMa J	40/60	5,7	9,5	32	40	52	85	8	
Variante A	40/60	5,8	10	40	65	75	95	8,5	

Les particularités de ces enrobés comparés aux enrobés minces français (épaisseur 4 cm) sont :

- une courbe continue,
- un dosage en sable élevé (+ 10 % au passant de 2 millimètres),
- l'usage de trois natures de sable différentes : un sable concassé (cas des matériaux français) et deux sables naturels lavés (l'un fin, l'autre grossier), utilisés à raison d'un tiers pour les types A et B ; le type G n'emploie que deux natures de sable : concassé 1/3, naturel fin 2/3,
- un dosage en bitume important, notamment avec les formules au bitume pur (+ 0,5 %).

Ces différences s'expliquent par la recherche d'une forte compacité, obtenue par un mélange de composition très maniable.

Les vérifications de comportement à l'orniérage par l'essai LPC conduisent aux mêmes conclusions que celles observées sur le terrain, à savoir que les enrobés de type A et B présentent une très forte sensibilité à l'orniérage, et qu'à même composition le bitume le plus mou (60/80) est un peu plus orniérant. Selon les spécifications françaises sur les enrobés en couche mince, ces enrobés appartiendraient à la classe 2, classe jugée insuffisante pour des chaussées à fort trafic poids lourds. En revanche, l'emploi dans l'enrobé G d'un liant modifié par des polymères et la diminution du dosage en liant (dosage comparable aux formules françaises) améliorent très fortement la résistance à l'orniérage. Cet enrobé G possède également un bon comportement sur chaussée, il satisfait aux recommandations pour un emploi sur chaussées à trafic élevé.

La figure 7 présente les résultats de la vérification de comportement à l'orniérage LPC des formules d'enrobés étudiées au Japon par la méthode de formulation Marshall.

Les résultats obtenus sur les formulations japonaises ne sont pas surprenants dans la mesure où un enrobé trop dense, trop riche en bitume de grade assez mou, et l'usage de sable naturel ont toujours conduit à des mauvaises résistances à l'orniérage.

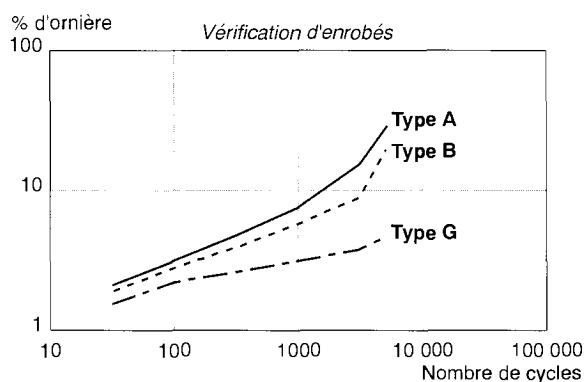


Fig. 7 - Vérification de comportement à l'orniérage des enrobés japonais.

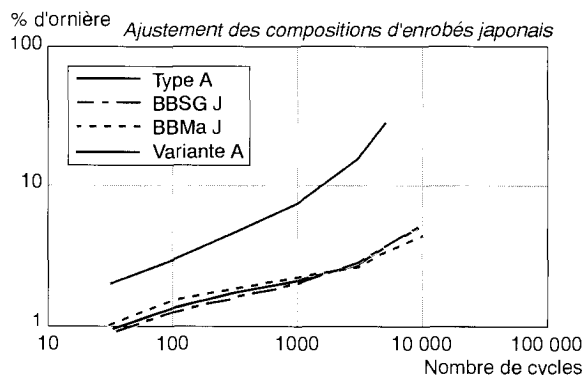


Fig. 8 - Résultats à l'orniérage LPC des enrobés japonais étudiés par la méthode française de formulation selon un ajustement de composition d'un BBSG (épaisseur 6 cm) ou d'un BBMa (épaisseur 4 cm) ou d'une variante du type A.

Une étude de formulation avec ces agrégats japonais a été réalisée selon les concepts de la méthode française de formulation des enrobés et avec les outils correspondants (presse à cisaillement giratoire : pour l'étude de la compactabilité ; essai Duriez pour la tenue à l'eau et l'ornièreur LPC).

Les résultats de résistance à l'ornièrage présentés sur la figure 8 montrent qu'il est possible d'obtenir des mélanges en couche mince de 4 cm (formule indiquée BBMa) et en couche moyenne de 6 à 8 cm (formule indiquée BBSG J) présentant une très bonne résistance à l'ornièrage avec un bitume pur, à condition d'éliminer l'un des sables naturels, de réduire la teneur en fines et le dosage en liant, et de créer une discontinuité granulométrique pour l'enrobé en couche mince.

Toujours suivant ces mêmes critères de formulation, la variante A (par rapport au type A : baisse de 0,5 % du bitume, suppression du sable fin naturel 0/2, mais conservation de la même granularité) donne également une bonne résistance à l'ornièrage. Toutefois, dans le même temps, on cons-

tatera, notamment pour l'enrobé en couche mince (BBMa J), que le seuil de compacité de 95 % ne peut pas être atteint et que, par conséquent, le degré d'imperméabilisation par l'enrobé lui-même est réduit.

Ceci montre bien la nécessité de trouver un compromis entre la recherche d'une imperméabilisation par l'enrobé et sa résistance à l'ornièrage en fonction de l'épaisseur de la couche de roulement. L'épaisseur mince constitue dans ce cas un mauvais choix, car l'on recherche à la fois les avantages des couches épaisses et des couches très minces or, comme ces propriétés ne sont pas compatibles, cela conduit à des performances très moyennes de l'enrobé.

Pour une bonne résistance à l'ornièrage, il est préférable d'associer un enrobé de liaison en couche épaisse (supérieure ou égale à 6 cm) avec un bitume assez dur (classe de pénétrabilité 20/30 ou 35/50) et une couche de roulement très mince qui assurera une très bonne adhérence sans compromettre l'imperméabilité (obtenue par l'enrobé de liaison) ni la résistance à l'ornièrage.

Conclusions

L'ornièreur est utilisé, en France, pour évaluer la résistance aux déformations permanentes des enrobés bitumineux vis-à-vis des spécifications des normes de définitions et de classifications. Les études moins traditionnelles qui viennent d'être présentées montrent que l'appareil et sa méthode d'essai permettent de quitter ce cadre strictement normatif pour fournir des indications comparatives sur le comportement d'enrobés inhabituels en France ou aider à la mise au point de formule résistant à l'ornièrage à partir de granulats inconnus.

Cette capacité à sortir, le cas échéant, des sentiers battus est due à deux propriétés de l'essai d'ornièrage LPC : une fidélité et une sélectivité suffisante dans un large domaine de formulations et de conditions de sollicitations.

En effet, sous réserve de l'adoption d'une température d'essai plus faible que dans le contexte français, il est possible de classer des formules dont la forte sensibilité à l'ornièrage interdirait

l'emploi sur les chaussées françaises à trafic moyen à fort. Une étude de ce type a été réalisée aux États-Unis par le Département des transports de l'État du Colorado [8]. Elle avait conclu à une relation entre les spécifications françaises à l'ornièreur LPC et le comportement à l'ornièrage observé sur le terrain, pour les quinze sites analysés, à condition d'ajuster les températures d'essai à 50, 55 ou 60 °C selon les conditions climatiques du site.

À l'inverse, l'essai reste sélectif pour les enrobés ayant des résistances aux déformations permanentes assez élevées. Il rend compte de la modification du comportement de l'enrobé par le changement des facteurs de formulations tels que le mode d'élaboration des sables, le grade du bitume, l'emploi de bitumes polymères, la nature pétrographique de la roche, etc. L'intérêt de cet essai pour le formulateur ne cesse de se confirmer dans le contexte actuel d'augmentation de l'agressivité du trafic routier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] GRIMAUX J.-P., HIERNAUX R. (1977), Utilisation de l'ornièreur type LCPC, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **Spécial V**, Bitumes et enrobés bitumineux, pp. 165-172.
- [2] HIERNAUX R. (1996), L'expérience d'exactitude de l'essai d'ornièrage et de répétabilité du compacteur de plaques, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, **202**, mars-avril, pp. 3-9.
- [3] BONNOT J. (1986), Asphalt Aggregate Mixture, *Transportation Research Record*, **1096**, pp. 42-51.
- [4] BROSEAUD Y. (1992), *Assessment of the use of the LPC rutting tester*, Rapport interne LCPC.
- [5] SETRA-LCPC (1994), *Guide d'application des normes enrobés hydrocarbonés à chaud pour le réseau routier national*, 2 fascicules de 50 et 98 pages, Référence D 9457.

- [6] BROSSEAUD Y., HIERNAUX R. (1996), *Étude des déformations permanentes des enrobés à chaud avec l'orniéreur LPC - Fiabilité - Sélectivité - Pertinence de l'essai*, Strasbourg, Eurobitumc-Eurasphalt (cd rom), Référence E et E 4. 051.
- [7] CORTÉ J.-F., GRAMSAMMER J.-C., BROSSEAUD Y., SIMONCELLI J.-P., CAROFF G. (1994), Investigation of rutting of asphalt layers. Influence of binder and configuration of axle loading, *Transportation Research Record*, **1436**, pp. 28-37.
- [8] ASCHENBRENER T. (1995), L'orniéreur LPC testé sur les chaussées du Colorado, *Revue Générale des Routes et Aéroports*, **729**, mai, pp. 66-72.

ABSTRACT

A study of the susceptibility of European and Japanese asphaltic concrete to plastic deformation using the LPC Rut Tester

Y. BROSSEAUD - R. HIERNAUX

The French mix design method for hot mix asphalt is based on laboratory investigations of mechanical properties and performance. The LPC Rut Tester has been used for more than twenty years to verify that mixes possess a minimum level of resistance to plastic deformation. An accuracy test has demonstrated that the repeatability and reproducibility of this test are satisfactory. Prestandardization research on a wide variety of European mixes and studies conducted to optimize the design of Japanese mixes have enabled the full potential of this machine to be appreciated. It is able to produce well differentiated classifications of materials on the basis of their resistance to rutting depending on the temperature at which the test is conducted, on local conditions and the specific composition of the mix (nature and composition of constituents). It also provides a means of investigating the influence of mix design parameters and therefore of improving the rutting performance of mixes using all types of materials.