

L'expérience d'exactitude de l'essai d'orniérage et de répétabilité du compactage de plaques

René HIERNAUX
Assistant

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Saint-Quentin

RÉSUMÉ

L'essai d'orniérage est actuellement le seul prévu dans la méthode française d'étude de formulation des enrobés bitumineux pour déterminer leur résistance aux déformations permanentes. Il a fait l'objet en 1992 d'une expérience d'exactitude visant à déterminer sa répétabilité et sa reproductibilité au sens de la norme ISO 5725 relative aux essais interlaboratoires. Pour réaliser un compromis satisfaisant entre le nombre de laboratoires participants et le nombre de répétitions par laboratoire, il a été décidé de retenir 12 laboratoires, représentatifs de la répartition de l'ensemble des orniériers, chacun ayant à réaliser 4 essais. Chacun d'eux étant la moyenne des mesures effectuées sur deux éprouvettes, il a été nécessaire de confectionner 96 plaques auxquelles sont venues s'ajouter 24 plaques de secours. Pour ne pas introduire de biais, la fabrication des plaques a été réalisée dans le même laboratoire. Pour conserver à l'étude un volume raisonnable, l'expérience n'a porté que sur une seule formule compactée à une seule énergie de compactage.

Les résultats obtenus paraissent satisfaisants en regard des seuils fixés par les normes définissant les différentes catégories de bétons bitumineux puisque la répétabilité moyenne est de 1,10 % et la reproductibilité de 1,15 %. La répétabilité du pourcentage de vides des plaques, déterminé au banc de gammadensimétrie dans un seul laboratoire, est de 1,10 %.

MOTS CLÉS : 31 - Essai - Ornière - Répétabilité - Reproductibilité - Étalonnage croisé - Enrobé - Compactage - Éprouvette - Dalle.

Introduction

Dans la méthodologie d'étude de formulation des enrobés bitumineux, la résistance aux déformations permanentes est normalement évaluée par l'essai d'orniérage. Après la diffusion, en juillet 1991, de la norme NF P 98-253-1 relative à cet essai, une expérience d'exactitude de l'essai d'orniérage au sens de la norme ISO 5725 a été réalisée par les Laboratoires des Ponts et Chaussées.

Cette expérience visait à déterminer la répétabilité et la reproductibilité de cet essai, qui sont les deux composantes de la fidélité d'une méthode d'essai, l'exactitude se définissant pour sa part comme la somme de la justesse et de la fidélité.

Pour déterminer la répétabilité, il faut réaliser un nombre suffisant d'essais, qui doivent impérativement respecter les conditions suivantes :

- mêmes échantillons,
- même méthode d'essai,
- matériel identique,
- même calibration,
- même laboratoire,
- même opérateur,
- mêmes équipements annexes,
- court intervalle de temps.

Pour évaluer la répétabilité moyenne d'une méthode, il faut faire intervenir plusieurs laboratoires en respectant les conditions de reproductibilité, qui sont :

- mêmes échantillons,
- même méthode,
- matériel identique.

Pour déterminer la reproductibilité, il faut sélectionner un nombre suffisant de participants, choisis pour être représentatifs de l'ensemble des utilisateurs de la méthode d'essai.

Dans une expérience d'exactitude, le nombre d'essais par laboratoire et le nombre de laboratoires doivent être tels que les deux grandeurs puissent être déterminées dans de bonnes conditions, même après élimination de certains résultats par différents tests statistiques, cela en conservant un nombre d'essais raisonnable.

Programme des essais

Au sens de la norme, un essai d'orniérage est la moyenne des mesures effectuées sur deux plaques identiques. Douze participants ont réalisé chacun quatre essais d'orniérage, ce qui correspond donc au test de 96 plaques.

Compte tenu du volume de travail important que cela représente, une seule formule et une seule énergie de compactage ont été étudiées.

La confection des éprouvettes n'est pas intégrée à la méthode d'essai, mais fait l'objet de deux autres normes. L'étude ne devant porter que sur l'essai d'orniérage lui-même, il était indispensable d'éliminer tout facteur de variabilité non lié à la méthode d'essai ; la confection de la totalité des éprouvettes a donc été confiée à un seul laboratoire.

Les participants

Le choix des participants résulte d'une procédure différente de celle d'un essai interlaboratoire. En particulier, il est demandé à chaque postulant de faire acte de candidature après avoir pris connaissance des conditions matérielles de l'essai. Les candidats s'engagent à mener à terme l'ensemble des essais en appliquant la procédure fixée et en communiquant tous les résultats demandés dans les délais impartis.

Différentes catégories d'utilisateurs ont été définies pour que l'ensemble des participants soit aussi représentatif que possible de la population des laboratoires disposant de l'un des soixante-deux orniériers (fig. 1) diffusés au moment des essais. Les douze participants ont été tirés au sort dans chacune d'elle selon un nombre représentatif de l'importance de cette catégorie dans la population des utilisateurs (fig. 2).

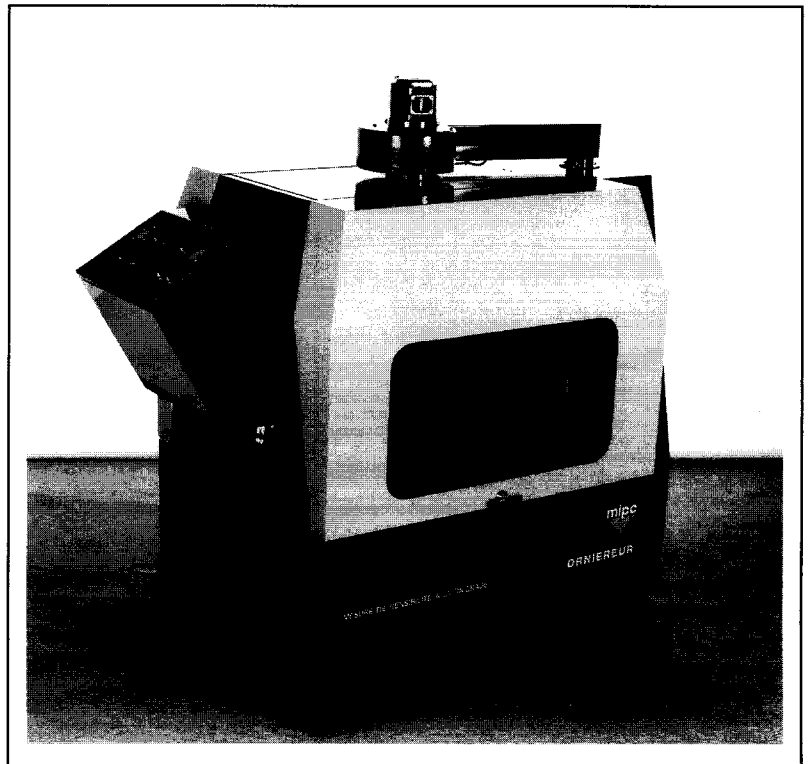


Fig. 1 - Orniéreur.

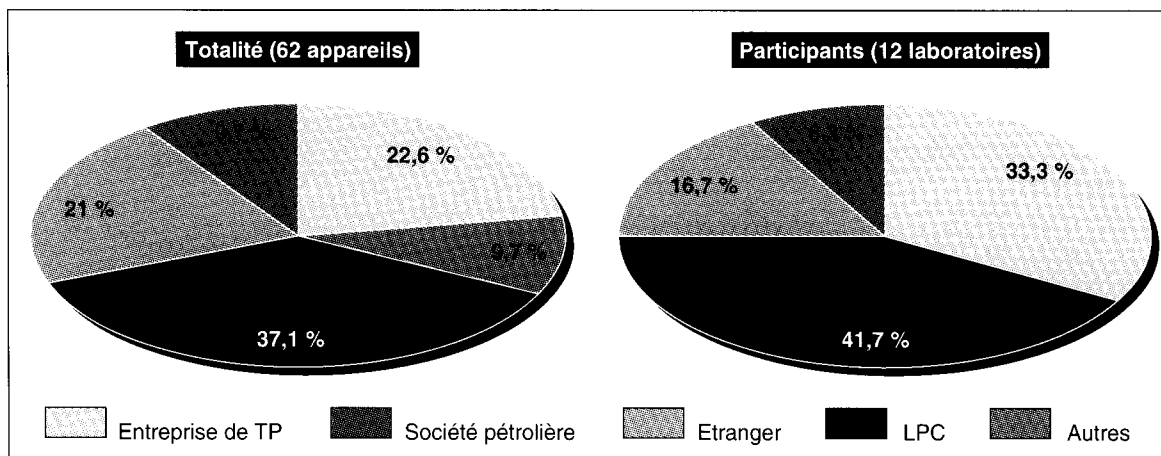


Fig. 2 - Répartition des orniériers.

Confection des éprouvettes

La formule d'enrobés bitumineux utilisée a été mise au point par le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Clermont-Ferrand pour que la profondeur d'ornière soit de l'ordre de 8 % à 30 000 cycles.

Il s'agit d'un béton bitumineux 0/10 Cusset (fig. 3) dosé à 6 % de bitume 50/70.

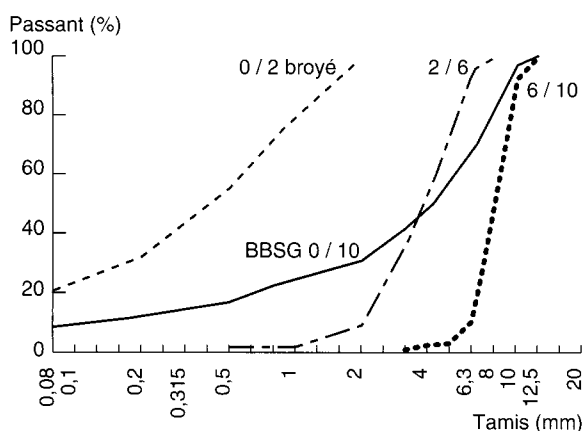


Fig. 3 - Granulométrie du béton bitumineux semi-greux 0/10 et de ses constituants.

Pour suivre les dispositions de la norme NF P 98-253-1, les éprouvettes ont été confectionnées dans les moules devant servir aux essais. Ces moules ont été transmis au LRPC de Saint-Quentin, chargé de la confection des plaques. Comme cette procédure interdit de reprendre une confection pour pallier d'éventuels incidents survenant au cours des essais d'orniérage, il a été décidé de fournir d'emblée deux plaques de secours à chaque laboratoire. 120 plaques ont donc été confection-

nées, dans les conditions de répétabilité, en cinq semaines par une équipe de trois personnes, le même technicien étant chargé de l'opération de compactage. Pour éviter que des facteurs non contrôlés ne viennent biaiser les résultats, un programme de confection a été établi. Il fixait les jours et heures de confection de chaque éprouvette en suivant, pour chaque laboratoire et pour chaque moule, une permutation circulaire de l'ordre de confection.

Mesures des masses volumiques apparentes

L'étude de l'essai d'orniérage a offert la possibilité de déterminer la répétabilité de la confection des plaques et de la mesure de la masse volumique apparente.

Deux méthodes de mesures ont été appliquées sur chaque plaque :

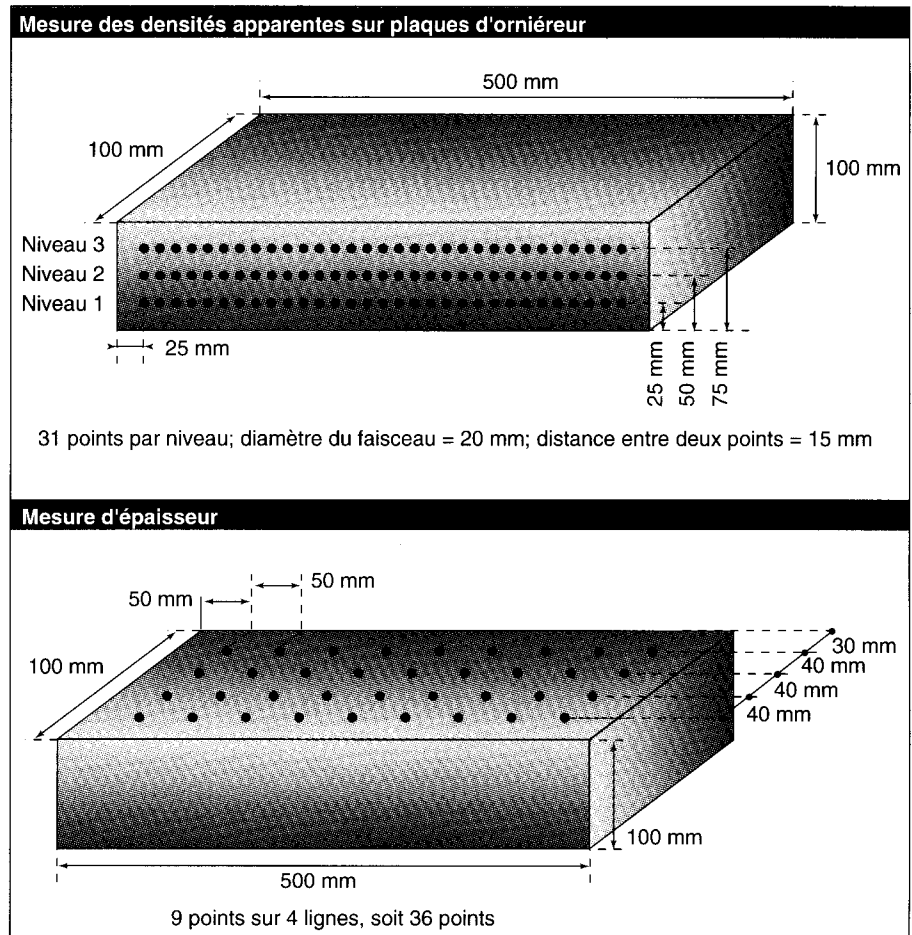
- la mesure au banc gamma (trois niveaux de 31 points chacun, fig. 4),
- la mesure géométrique, à partir de 93 mesures de largeur et de 36 points de mesure d'épaisseur en utilisant le dispositif du banc gamma.

La répétabilité a été déterminée conformément à la norme en vigueur au moment des essais :

$r = 2,8 \cdot \sigma$ (avec σ : écart-type des 120 masses volumiques apparentes moyennes).

Les valeurs obtenues ne s'appliquent, en toute rigueur qu'au LRPC de Saint-Quentin, mais donnent une bonne estimation de la répétabilité que l'on peut attendre de la méthode d'essai.

Fig. 4 -
Implantation des
points de mesures
au banc de gamma-
densimétrie.



Il apparaît donc que lorsque les conditions de répétabilité sont correctement respectées, le compacteur de plaques mlpc (fig. 5) permet la confection de lots de plaques d'une homogénéité très satisfaisante (tableau I).

TABLEAU I
Pourcentages des vides déterminés
sur 120 plaques d'orniéristeur

	Moyenne	Écart-type	Maximum	Minimum	Répétabilité
Banc gamma	3,85	0,40	2,75	4,80	1,10
Mesure géométrique	4,85	0,45	3,55	5,90	1,25

La figure 6 donne la répartition des teneurs en vides selon chacune des méthodes de mesure.

En marge de la détermination de la répétabilité, on a constaté qu'il n'y a qu'une très mauvaise corrélation entre ces deux méthodes (fig. 7).

L'analyse de variance des teneurs en vides déterminées au banc gamma réalisée pour trois facteurs (jour de fabrication, rang dans le jour de fabrication, moule) est non significative au seuil de 95 %.

Visite technique des orniéristeurs

Différents réglages et contrôles ont été effectués par chaque participant sur son matériel en suivant les indications données. À l'exception des deux laboratoires étrangers (Suisse et Autriche), tous les orniéristeurs ont été visités par des agents des LRPC de Clermont-Ferrand ou de Saint-Quentin.

Ces différentes observations ont permis de s'assurer notamment que les variations d'un laboratoire à l'autre concernant les charges appliquées, les surfaces de contact pneu-éprouvette et les conditions de remise en température après chaque arrêt étaient acceptables selon la norme de l'essai.

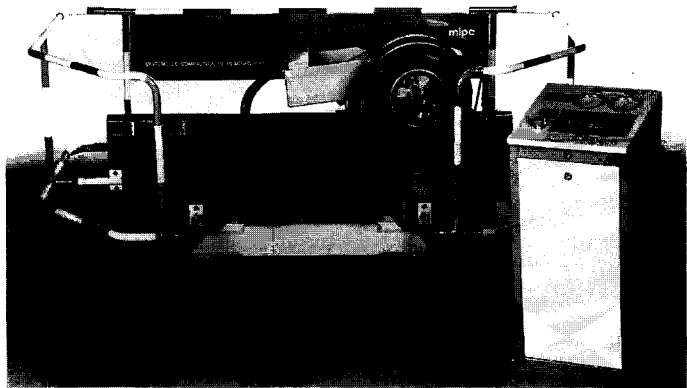
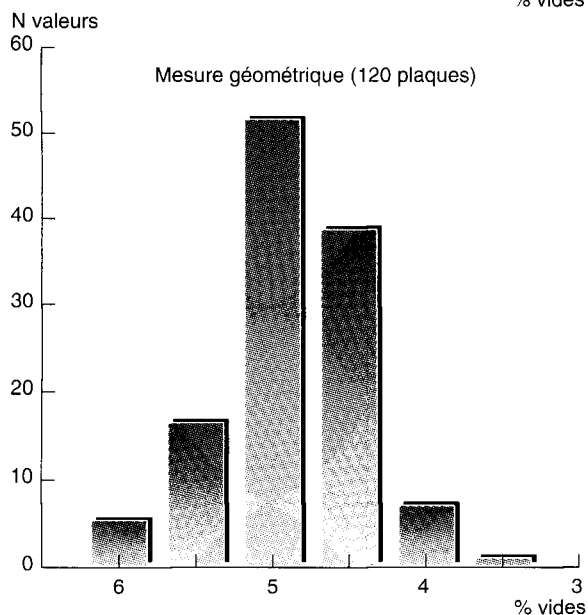
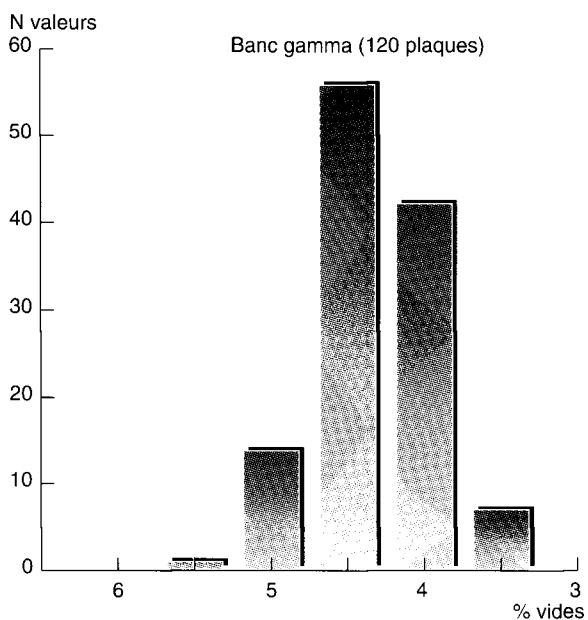


Fig. 5 - Compacteur de plaques.

Fig. 6 - Répartition des teneurs en vides selon chacune des méthodes de mesure



Banc gamma (pourcentage de vides)

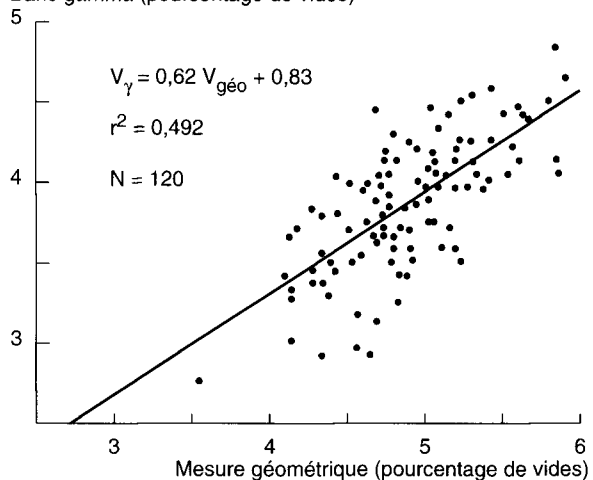


Fig. 7 - Corrélation entre les pourcentages de vides selon les deux méthodes de mesure.

Exécution des essais

Les essais ont été réalisés conformément à la norme, complétée par quelques instructions particulières sur la mise en place des éprouvettes, les conditions de préchauffage, l'ordre de passage, les arrêts pour mesure de la profondeur d'ornièrre, la durée des remises en température. La période des essais a été délimitée pour éviter que les éprouvettes soient testées à des âges trop différents. Dix participants sur douze ont commencé entre le 15 mars et le 15 avril 1992 ; l'âge moyen des éprouvettes au moment des essais était de cinq mois et demi. Pour l'ensemble des laboratoires, tous les essais se sont déroulés dans une période comprise entre trois semaines et un mois, ce qui n'excède que de peu la durée minimale des essais : deux semaines. La clause du court intervalle de temps requis pour satisfaire aux conditions de répétabilité a donc été respectée.

Résultats

Les profondeurs d'ornièrre à 30 000 cycles des quatre essais demandés à chaque unité sont présentés sur la figure 8 (pour l'expérience d'exactitude, la définition de l'essai est plus restrictive que celle de la norme : il faut entendre « la moyenne des résultats obtenus sur deux plaques passées simultanément à l'ornièrreur »).

Compte tenu du nombre et de la diversité des laboratoires participants, on peut estimer que peu d'anomalies ont été relevées : deux laboratoires ont signalé une panne de pression ou une crevaison en cours d'essai, qui les ont contraints à utiliser une ou deux plaques de secours. Un labo-

ratoire n'a pu maintenir la température d'essai dans les limites fixées par la norme : ses résultats n'ont pas été pris en compte. Enfin, l'un des essais d'un autre laboratoire présente une ornière à 30 cycles très inférieure à la valeur courante, mais progressant normalement ensuite. Il s'agit, vraisemblablement, d'un décalage de zéro. Dans le doute, l'essai a dû être éliminé. La figure 8 montre également la répartition des profondeurs d'ornière à 30 000 cycles des essais retenus avant traitement.

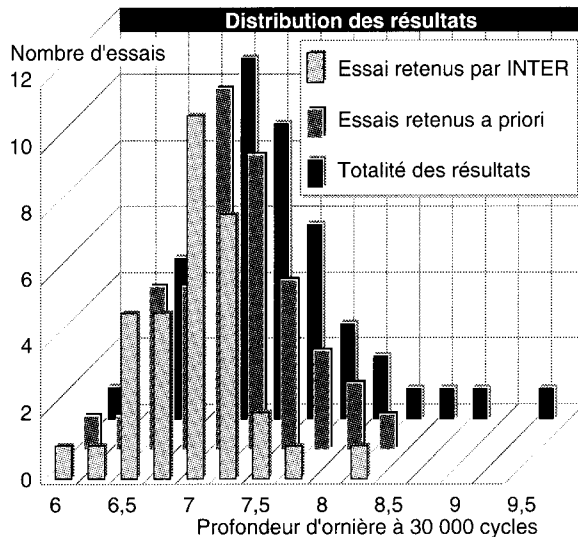


Fig. 8 - Profondeur d'ornière à 30 000 cycles (%) sur l'ensemble des essais réalisés.

La dispersion de ces essais, estimée par l'écart-type des résultats, est donnée pour chaque participant à 1 000 et 30 000 cycles (tableau II). Cet écart-type varie beaucoup d'un laboratoire à l'autre. Toutefois, comme huit valeurs sur onze sont comprises entre 0,1 et 0,3 %, on peut estimer que ce résultat confirme globalement le caractère opérationnel de l'appareil et de la méthode d'essai.

Les différents tests d'homogénéité ou de normalité des résultats ont été réalisés par le logiciel INTER développé par J.-C. Blin (LRPC d'Angers). Ce logiciel a également effectué les calculs de répétabilité et de reproductibilité. Les principaux résultats sont récapitulés dans le tableau III.

Les tests conduisant à l'élimination de laboratoires sont sévères. À 30 000 cycles, le simple examen de la répartition des résultats de l'un des deux laboratoires exclus ne permet pas de comprendre les raisons de son exclusion.

La répétabilité et la reproductibilité apparaissent très satisfaisantes pour l'essai d'orniérage. Elles sont meilleures que ne le laissaient prévoir les conclusions d'une étude exploratoire exécutée en

1986 entre quatre orniériers. L'écart entre la répétabilité et la reproductibilité peut apparaître faible, mais la plus grande variabilité des résultats constatée chez trois participants sur onze (tableau II) a affecté sensiblement la répétabilité moyenne de la méthode d'essai.

La reproductibilité pourrait être améliorée dans une certaine mesure. En effet, le dépouillement des essais et les observations ont mis en évidence deux difficultés rencontrées dans la conduite de l'essai : la calibration de la charge et la régulation de température.

La vérification des matériels effectuée maintenant par l'équipe du LRPC d'Angers répond au souci d'une bonne calibration de la force appliquée sur l'éprouvette. Entre ces vérifications, cette difficulté pourrait être réglée par la mise au point d'un appareil de mesure spécifique, qui serait utilisable par les possesseurs d'orniérier eux-mêmes.

TABLEAU II
Dispersion des résultats retenus pour chaque laboratoire

Laboratoire	1 000 cycles		30 000 cycles	
	Ornière moyenne (%)	Écart-type (%)	Ornière moyenne (%)	Écart-type (%)
A	4,70	0,25	6,75	0,25
B	5,05	0,20	6,95	0,15
C	5,05	0,60	7,15	0,55
D	5,30	0,05	7,00	0,10
E	4,95	0,30	7,50	0,25
H	5,00	0,20	7,15	0,30
J	5,20	0,25	7,80	0,30
L	5,10	0,50	7,30	0,80
M	4,45	0,10	6,55	0,15
N	4,85	0,10	7,25	0,20
P	4,15	0,65	6,95	0,65

TABLEAU III
Récapitulation des principaux résultats de l'expérience d'exactitude

	1 000 cycles	30 000 cycles
Nombre de laboratoires retenus	9	9
Causes des éliminations		
- normalité refusée	1	0
- variance trop forte	1	0
- homogénéité moyenne	2	2
Ornière moyenne (%)	4,85	7
Répétabilité	1,05	1,10
Reproductibilité	1,30	1,15

Le maintien de la température pendant le déroulement de l'essai est rendu délicat par les positions respectives de la sonde de mesure et de la sonde de régulation. En effet, la norme prévoit l'implantation de la sonde de mesure au milieu de la longueur de la plaque, côté intérieur de l'orniéreur, alors que la sonde du dispositif de régulation doit être placée près de l'une des extrémités de la plaque, côté extérieur. L'échauffement provoqué par le passage de la roue est à l'origine d'une augmentation des écarts de température entre ces deux points. Lorsque cette différence apparaît, deux comportements sont observés : certains opérateurs constatent cet écart qui ne cesse de se creuser, d'autres agissent sur le point de consigne du régulateur pour éviter de sortir des limites autorisées. Ces deux attitudes pouvant être justifiées, il importe qu'une décision soit prise pour unifier les pratiques en attendant d'imposer le rapprochement des deux sondes.

Conclusions

La détermination de la fidélité de l'essai d'orniérage par le calcul de la répétabilité et la reproductibilité selon la norme ISO 5725 a été réalisée sur un béton bitumineux présentant une sensibilité moyenne aux déformations permanentes. Pour ne tester que la méthode d'essai décrite dans la norme NF P 98-253-1, on a essayé de limiter toutes les autres causes de variabilité.

C'est pour cette raison que, notamment, la fabrication a été concentrée dans un même laboratoire, qu'une visite préalable des appareils a été réalisée pour vérifier que les procédures de calibration appliquées étaient les mêmes et que chacun suivait bien la même méthode d'essai. Ces précautions permettent d'espérer que les variations constatées ne proviennent pas de causes extérieures au champ de la norme.

Les essais ont été réalisés par un groupe de laboratoires, aussi représentatif que possible de la totalité des utilisateurs, ce qui laisse penser que la fidélité calculée à l'issue des essais est extrapolable à l'ensemble des laboratoires pratiquant l'essai.

Les résultats paraissent satisfaisants compte tenu des seuils fixés par les normes relatives à la définition et à la caractérisation des différentes familles d'enrobés. Toutefois, il semble que la répétabilité et la reproductibilité pourraient être encore améliorées. Il faudrait, notamment, pour cela que les utilisateurs, ou les organismes chargés de la vérification des appareils, puissent disposer d'un appareil de calibration de la force appliquée qui tienne compte des spécificités de l'orniéreur. D'autre part, la modification des prescriptions de la norme concernant les positions des sondes de température pourrait réduire l'effet « laboratoire » et améliorer ainsi la fidélité de l'essai.

ABSTRACT

An experiment to determine the accuracy of the rutting test and the repeatability of slab compaction

R. HIERNAUX

The rutting test is at present the only test provided for in the French method of studying the formulation of bituminous mixes to determine their resistance to permanent deformations. In 1992 it was the subject of an experiment designed to determine its repeatability and reproducibility as defined in the ISO 5725 standard applicable to inter-laboratory tests. In order to achieve a satisfactory compromise between the number of laboratories participating and the number of repetitions per laboratory, it was decided to select 12 laboratories representative of the overall distribution of rutting test machines, with each laboratory performing 4 tests. Since each test was to correspond to the average measurements made on two samples, one of them was necessary to produce 96 plates, to which were added 24 reserve plates. To avoid introducing bias, the plates were all made in the same laboratory. To keep the study down to reasonable proportions, the experiment covered only a single compacted formula and a single compaction energy.

The results appear satisfactory in respect of the thresholds set by the standards defining the different categories of asphalt concrete, since the average repeatability was 1.10% and the reproducibility 1.15%. The repeatability of the voids ratio of the plates, determined by gammadensitometry in a single laboratory, was 1.10%.