Influence de la forme des granulats sur les caractéristiques d'un béton bitumineux, 2ème partie

Einfluss der Kornform auf die Eigenschaften
eines Asphaltbetons, 2. Teil

Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)
de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
Bureau d'ingénieurs ERTEC S.A., Le Mont-sur-Lausanne

André-Gilles Dumont, professeur (LAVOC)
Jean-Claude Turtschy, adjoint scientifique (LAVOC)
Jean Beauverd, ing. dipl. EPFL, président ERTEC S.A.
Tony Bühler, ing. dipl. EPFL, directeur ERTEC S.A.

Mandat de recherche 10/94 sur proposition de l'Union
des professionnels suisses de la route (VSS)

Novembre 98

Table des matières

1. RÉSUMÉ 4

2. DÉFINITIONS 7

3. RÉSULTATS DE LA PREMIÈRE PARTIE D'ÉTUDE (RAPPORT OF N° 251, AVRIL 92) 7

4. ORGANISATION DE L'ÉTUDE 10

4.1. INFLUENCE DU MODE DE CONCASSAGE 10
4.2. INFLUENCE DE LA NATURE PÉTROGRAPHIQUE 10
4.3. INFLUENCE DE LA FORME 10
4.4. INFLUENCE DES FINES NATURELLES EN FONCTION DU MODE DE CONCASSAGE 10

5. PRODUCTION DES GRANULATS 11

5.1. ORIGINE DES MATÉRIAUX CONCASSÉS 11
5.2. MODE D'ÉLABORATION 11
5.3. TRI DES MATÉRIAUX 12
5.3.1. Granulométrie 12
5.3.2. Forme des grains 12
5.4. IDENTIFICATION DES FRACTIONS 14

6. ESSAIS EN LABORATOIRE 15

6.1. ESSAIS SUR GRANULATS 15
6.2. ESSAIS SUR MÉLANGE BITUMINEUX 16
6.2.1. Formulation 16
Composition granulométrique [% passant] 16
6.2.2. Plan d'expérience 16
6.2.3. Essais sur béton bitumineux 18

7. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS 19

7.1. TABLEAU DE SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES ESSAIS SUR BÉTON BITUMINEUX 20
7.2. TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES ESSAIS SUR GRANULATS 21
7.3. TABLEAU DES RÉSULTATS D'INDENTATION SUR MÉLANGES SABLE/BITUME 22

8. COMMENTAIRES 23

8.1. CARACTÉRISATION DE LA FORME DES GRANULATS 23
8.1.1. Méthodes directes 23
8.1.2. Méthodes indirectes 23
8.2. RELATION ENTRE LA FORME DES GRANULATS ET LA DÉFORMABILITÉ D'UN ENROBÉ 25
8.2.1. Effet de la cubicité 25
8.2.2. Effet de l'état des arêtes 27
8.2.3. Effet de la nature pétrographique 28
8.3. AUTRES EFFETS 29
8.3.1. Effet de la nature du filler 29
8.3.2. Effet de la dureté du bitume 32
8.3.3. Compactibilité des mélanges bitumineux 32

9. EFFETS SUR LA NORMALISATION 34

10. CONCLUSIONS 35

11. RÉFÉRENCES 36

12. BIBLIOGRAPHIE 36

13. ANNEXES 37

I. Concasseurs 38
a) à mâchoires 38
b) à percussion 38

c) à sole tournante autobroyant 39
d) à sole tournante à enclumes....39

II. Cubicité des granulats : comparaison des valeurs exprimées en % nombre à celles exprimées en % poids....40

III. Essai de perméabilité au perméamètre à charge variable....42

IV. Résultats des essais de laboratoire 44
a) Essai Marshall 44
b) Essai PCG (presse à cisaillement giratoire)....58
c) Essai à l'orniéreur LCPC 72

V. Fiches de matériel de laboratoire 99
a) Simulateur de trafic LPC....100
b) PCG (Presse à cisaillement giratoire)....101

1. Résumé

En 1991, le LAVOC et ERTEC entreprenaient une étude en vue d'évaluer les paramètres de la forme des granulats, en l'occurrence :

- la cubicité
- l'état des arêtes
- l'état des faces

du grain sur les performances d'un béton bitumineux, en particulier sa susceptibilité à l'orniérage.

Les résultats mettaient en évidence l'incidence prépondérante de l'état des arêtes des sables – donc du mode de concassage – sur les caractéristiques mécaniques d'un enrobé.

Au vu des résultats obtenus et compte tenu du champ limité de l'étude, une 2ème étape de recherche se voyait proposée et était acceptée par l'OFROU.

Dans cette étape, la recherche était étendue à d'autres modes de concassage susceptibles de favoriser l'émoussage des arêtes, ainsi qu'à plusieurs sortes de roches pour voir si la nature pétrographique a une incidence sur la forme du granulat, et par conséquent sur la tenue à l'orniérage d'un enrobé.

Dans cette étude, il était également prévu de mettre au point une méthode permettant de caractériser l'état des arêtes et des faces des grains.

Les résultats obtenus ont révélé que divers types de concasseurs, en particulier à sole tournante autobroyant et à sole tournante à enclumes sont susceptibles de produire des granulats à arêtes émoussées, donc favorisant la susceptibilité aux déformations d'un enrobé.

L'étude révélait également le caractère arbitraire des limites en éléments non cubiques imposées par la norme SN 670 130. Au contraire, elle mettait même en évidence qu'un taux trop élevé en éléments cubiques était capable d'accroître la susceptibilité à l'orniérage des mélanges bitumineux.

La nature pétrographique du granulat se révélait par contre sans incidence notable sur la forme des granulats.

Malheureusement, malgré une recherche approfondie, aucune méthode directe ou indirecte pour déterminer la forme des granulats, en particulier l'état des arêtes et des faces des grains s'est révélée satisfaisante.

A ce jour, seul un essai accéléré avec un orniéreur permet de déterminer la susceptibilité à l'orniérage des enrobés. L'essai Marshall quant à lui se révèle inefficace pour caractériser ce paramètre.

Les résultats majeurs de cette recherche ont été intégrés dans la nouvelle norme SN 670 130 adoptée en mai 1998.

Zusammenfassung

Das LAVOC und das ERTEC haben im Jahre 1991 eine Studie durchgeführt mit dem Zweck, die Parameter betreffend der Splittkornform in diesem Fall :

- die Kubizität
- die Kantigkeit
- die Oberflächeneigenschaften

des Kornes und ihre Auswirkungen auf das Verhalten eines bituminösen Betons, im speziellen seinen Widerstand gegenüber Verformungen zu untersuchen.

Die Auswirkungen der Kantigkeit der Sandkörner auf die mechanischen Eigenschaften eines Belages wurden durch die Resultate deutlich hervorgehoben. Die Kantigkeit der Körner ist seinerseits Resultat der Brechverfahren.

Angesichts der erhaltenen Resultate und des eingeschränkten Forschungsfeldes wurde eine zweite Forschungsetappe vorgeschlagen und vom ASTRA akzeptiert.

In dieser Etappe wurde die Forschung auf andere, die Abstumpfung der Kanten favorisierende Brechungsmethoden ausgedehnt, sowie auf mehrere Felsarten, um die Auswirkung der Petrographie auf die Form des Granulates und somit auf die Spurrinnenempfindlichkeit eines Belages zu untersuchen.

Es war auch vorgesehen, in dieser Studie eine Methode zu erarbeiten, welche die Charakterisierung des Zustandes der Kanten und Flächen der Körner erlauben würde.

Die erhaltenen Resultate haben gezeigt, dass gewisse Typen von Brecher - im speziellen selbstzermahlende Drehscholle und Drehscholle mit Amboss Granulate mit abgestumpften Kanten produzieren, also Granulate, welche die Verformungsempfindlichkeit eines Belages erhöhen.

Die Studie hat ebenfalls den willkürlichen Charakter der Norm SN 670 130 betreffend der Limiten an nicht-kubischen Elementen aufgezeigt. Sie hat im Gegenteil gezeigt, dass ein zu hoher Anteil an kubischen Elementen die Spurrinnenempfindlichkeit der Bitumen erhöhen kann.

Die Petrographie des Felsens hingegen hat keine nennenswerte Auswirkung auf die Form des Granulates.

Trotz einer vertieften Forschung konnte leider keine befriedigende direkte oder indirekte Methode der Splittkornformbestimmung (Kanten- und Flächenzustand) ausgearbeiten werden.

Nur ein Spurrinnentest kann heute den Widerstand eines Belages gegenüber Verformungen bestimmen. Der Marschall-Versuch ist für die Bestimmung dieses Parameters nicht brauchbar.

Die wichtigsten Resultate dieser Forschungsarbeit sind in der neuen, im Mai 1998 akzeptierten Norm SN 670 130 integriert worden.

Summary

In 1991, the LAVOC and ERTEC undertook a study in order to evaluate the parameters of the shape of the aggregates, in fact:

- the cubicity
- the state of the edges (shape)
- the surface conditions

on the performances of an asphalt concrete, in particular its susceptibility to rutting.

The results highlighted the dominating incidence of the state of the edges of sands - therefore mode of crushing - on the mechanical characteristics of a bituminous mix.

Within sight of the results obtained and the limited field of the study, one 2nd stage of search was seen proposed and was accepted by the OFROU.

In this stage, search was extended to other modes of crushing likely to support the softening of edges, as well as with several kinds of rocks to see whether petrographic nature affects the shape of the aggregate, and consequently on the behaviour with the rutting of a bituminous mix.

In this study, it was also envisaged to develop a method making it possible to characterise the state of the edges and the faces of the grains.

The results obtained revealed that various types of crushers, in particular with self-crushing rotating sole plate and rotating sole plate with anvils are likely to produce soft-edged aggregates, therefore supporting susceptibility to the deformations of a bituminous mix.

The study also revealed the arbitrary character of the limits in non-cubic elements imposed by the standard SN 670 130. On the contrary, it highlighted even that a too high rate in cubic elements was able to increase susceptibility to rutting of the bituminous mixtures.

The petrographic nature of the aggregate appeared on the other hand without notable incidence on the shape of the aggregates.

Unfortunately, in spite of a deepened search, no direct or indirect method to determine the shape of the aggregates, in particular the state of the edges and faces of the grains appeared satisfactory.

To date, only an accelerated test with an wheel track device makes it possible to determine susceptibility to rutting of the bituminous mixes. The Marshall test as for him proves ineffective to characterise this parameter.

The major results of this search were integrated in the new standard SN 670 130 adopted in May 1998.

2. Définitions

Forme : la forme du grain ainsi définie dans la présente recherche regroupe plusieurs paramètres pouvant avoir une incidence sur le comportement d'un mélange bitumineux. Il s'agit de :

- la cubicité ou la sphéricité du grain
- l'arrondi du grain
- l'état des arêtes d'un grain concassé

Cubicité/sphéricité : on parle de cubicité en présence de matériau concassé et de sphéricité lorsqu'on a affaire à un matériau roulé. La cubicité et la sphéricité d'un grain s'expriment par le rapport entre la plus petite et la plus grande dimension, soit entre l'épaisseur **c** et la longueur **a** du grain. Les grains sont dits cubiques ou sphériques lorsque le rapport **c/a** est plus grand ou égal à 0,4. Dans ce rapport, lorsque l'on parle de taux de cubicité de x %, on entend que la fraction considérée contient x % en nombre de granulats dont le rapport **c/a** est $\geq$ 0,4.

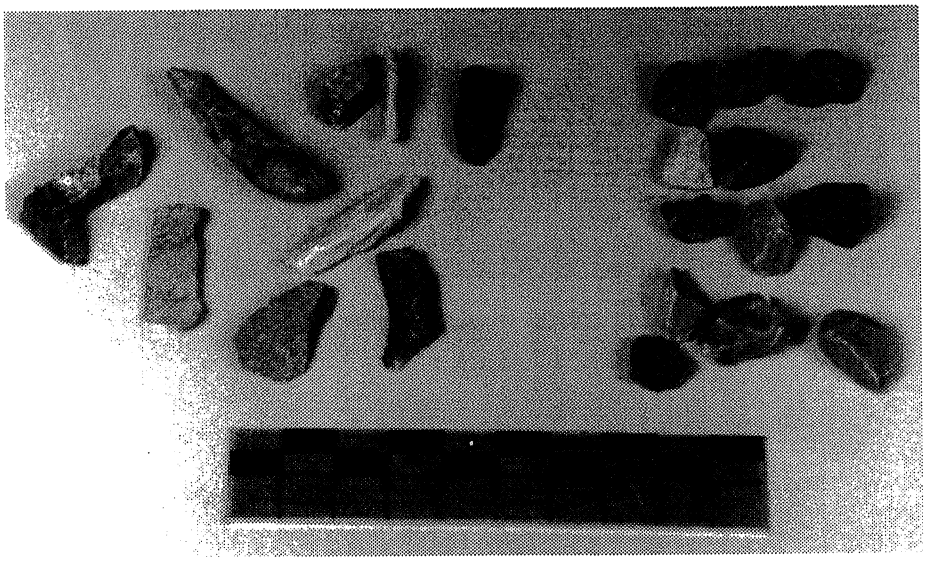


Photo 1 : *forme des granulats, granulats allongés et cubiques*

Arrondi : on désigne par surfaces arrondies les surfaces limites du grain usées naturellement ou par une action mécanique.

Etat des arêtes : il est habituellement admis qu'un grain concassé présente des arêtes vives. Or, les études ont montré que les arêtes pouvaient être plus ou moins émoussées en fonction des concasseurs ou broyeurs utilisés.

3. Résultats de la première partie d'étude (rapport OF N° 251, avril 92)

L'incidence de la forme des granulats sur les propriétés mécaniques des bétons bitumineux a déjà fait l'objet d'une recherche sous les mandats 2/89 et 24/91. Elle s'intitulait "Influence de la forme des granulats sur les caractéristiques d'un béton bitumineux".

Cette recherche se justifiait par le fait que l'incidence de la forme des granulats, notamment alluvionnaires, sur diverses propriétés des matériaux bitumineux, en particulier dans le domaine des déformations avait été mis en évidence par certaines études.

La recherche cependant abandonnait le terrain des granulats alluvionnaires pour s'intéresser aux granulats issus de roches massives, mais concassés avec du matériel suspecté d'émousser les arêtes des grains, ce qui favoriserait la susceptibilité à l'orniérage des bétons bitumineux.

Dans ce but, le LAVOC et ERTEC avaient réalisé une étude conjointe devant évaluer l'influence de la forme du granulat, en l'occurrence :

- son taux de cubicité
- l'état de ses arêtes
- l'état de surface

sur diverses caractéristiques d'un enrobé de référence AB 11S telles que :

- sa compactibilité,
- son comportement aux déformations
- ses caractéristiques mécaniques

Il s'agissait d'une part de vérifier la validité de la limite maximale imposée par la norme SN 670 130 [réf. 1] relative au pourcentage d'éléments non cubiques et d'autre part, d'estimer si l'influence de l'état des arêtes et de la surface des granulats méritait d'être pris en compte.

Pour cette étude, les granulats avaient été produits selon deux modes de concassage, soit:

- un mode faisant appel à un ensemble de concasseurs à mâchoires et à marteaux [cf. annexe 1] pour produire des granulats à arêtes vives,
- l'autre mode faisant appel en dernier lieu à un concasseur à sole tournante autobroyant [cf. annexe 1] ayant pour particularité de fournir des granulats avec des arêtes émoussées.

Un seul type de roche avait été utilisé pour produire les granulats, en l'occurrence un calcaire siliceux provenant des carrières d'Arvel.

Sur la base d'une seule recette, sept mélanges avaient été fabriqués en faisant varier :

- le taux de cubicité des gravillons. Trois taux avaient été retenus, à savoir : 20%, 65% et 77%,
- l'état des arêtes, par l'usage de granulats à arêtes vives élaborés avec des concasseurs à mâchoires et à marteaux d'une part, et de granulats à arêtes émoussées élaborés avec un concasseur à sole tournante autobroyant d'autre part.

La nature des fines (filler d'apport), la teneur en éléments cubiques des sables (taux de cubicité de 65% pour la fraction 1,4 – 2,8 mm) et la compacité absolue avaient été conservées pour toutes les formules.

L'étude de laboratoire sur les mélanges avait été réalisée en faisant appel à des essais susceptibles de mesurer les effets des différents paramètres, soit :

- l'essai Marshall [réf. 2] et l'essai à la presse à cisaillement giratoire [réf. 3] pour la compactibilité,

- l'essai à l'orniéreur LCPC [réf. 4], l'essai de fluage statique et dynamique, l'essai de compression diamétrale pour la déformabilité,
- l'essai de module [réf. 5] et de fatigue [réf. 6] sur éprouvettes trapézoïdales pour les caractéristiques mécaniques.

Les résultats ont mis en évidence l'incidence très importante de l'utilisation d'un sable aux arêtes émoussées sur la compactibilité et la susceptibilité aux déformations d'un mélange bitumineux, cela d'autant plus que le taux de cubicité des gravillons est élevé.

Les résultats ont également montré qu'avec un sable aux arêtes vives, la cubicité des gravillons n'a pas d'influence significative, hormis sur la compactibilité de l'enrobé.

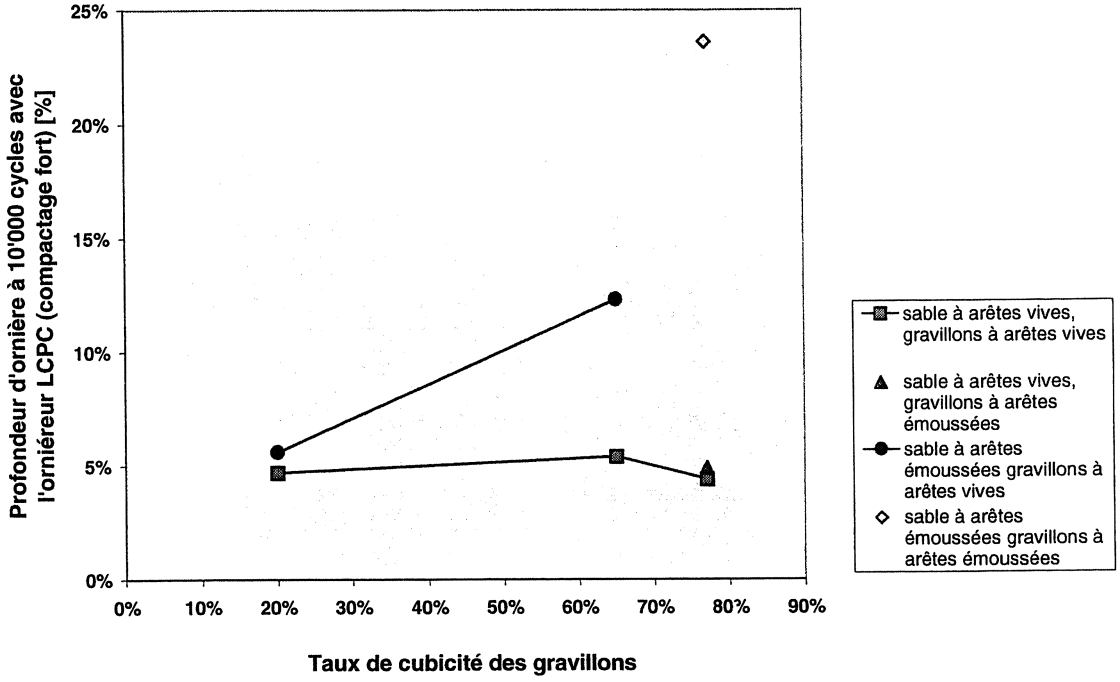


Figure 1 : *résultats à l'orniéreur LCPC en fonction du taux de cubicité des granulats et du mode de concassage*

Le champ limité de l'étude n'a toutefois pas permis d'étudier l'incidence de caractéristiques importantes comme la nature pétrographique des matériaux et le mode d'élaboration des fines naturelles.
En bref, les résultats obtenus ont montré **le caractère arbitraire des limites en matériaux non cubiques** imposées par la norme SN 670 130 aux gravillons destinés à la fabrication de bétons bitumineux. De même, ils ont **révélé l'influence prépondérante de l'état des arêtes du sable** sur la susceptibilité d'un enrobé à l'orniérage.

Les résultats ont montré la nécessité de modifier les critères de caractérisation de la forme des granulats insuffisamment décrits dans la norme SN 670 130 et d'élaborer des règles d'utilisation des granulats issus de procédés de concassage émoussant les arêtes.

Cependant, le champ limité de cette précédente étude a rendu nécessaire le fait de compléter les investigations en axant la recherche sur l'influence de la nature de la roche dont sont issus les granulats ainsi que celle de leurs fines naturelles.

4. Organisation de l'étude

Dans cette recherche, en regard de la susceptibilité à l'orniérage d'un mélange bitumineux, nous avons étudié :

- l'influence de la forme et de l'état de surface des granulats issus de roches de nature pétrographique différente,
- l'effet de la nature pétrographique,
- l'action du mode de concassage sur la forme des grains en utilisant divers concasseurs susceptibles de produire des granulats aux arêtes vives ou émoussées,
- l'influence de la nature des fines, en utilisant les fines naturelles contenues dans le sable concassé ou des fines d'apport.

4.1. Influence du mode de concassage

Trois modes de concassage différents ont été utilisés pour élaborer les granulats nécessaires à cette étude, soit :

- concasseur à marteaux [cf. annexe 1]
- concasseur à sole tournante autobroyant [cf. annexe 1]
- concasseur à sole tournante à enclumes [cf. annexe 1]

4.2. Influence de la nature pétrographique

En plus de la roche qui avait été sélectionnée pour la première partie de la recherche, pour mémoire un calcaire siliceux qui provenait des carrières d'Arvel, deux autres carrières ont fourni du ballast pour l'élaboration des granulats nécessaires à cette étude, à savoir :

- la carrière de Balmholz à Sundlauenen (BE)
- la carrière de Basaltstein à Buchs (SG)

4.3. Influence de la forme

Lors de l'étude précédente, les taux de cubicité sélectionnés pour les gravillons étaient de 20, 65 et 77 %. Pour cette étude, nous avons réduit le nombre à deux. Les taux choisis soit 50 et 70 %, sont proches des extrêmes de production supposés d'une installation de concassage.

Lors de la première étude, le taux de cubicité des sables, ou plus exactement celui de la fraction 1,4/2,8 mm était unique pour tous les mélanges. Dans cette recherche, nous avons travaillé avec des taux de cubicité variables, identiques à ceux des gravillons pour nous permettre de tirer quelques conclusions quant à l'influence du taux de cubicité des sables, en comparant les résultats des mélanges à base de granulats d'Arvel avec ceux obtenus dans la première étude.

4.4. Influence des fines naturelles en fonction du mode de concassage

Nous avons dans cette recherche étudié l'incidence des fines naturelles sur la susceptibilité d'un mélange bitumineux en comparaison avec un mélange similaire réalisé avec un filler industriel.

5. Production des granulats

5.1. Origine des matériaux concassés

En plus de la carrière d'Arvel qui avait fourni le matériau granulaire pour la première partie d'étude, deux autres carrières ont été sélectionnées pour fournir le ballast nécessaire à cette 2ème étape.

La sélection a été opérée parmi les 20 carrières et gravières qui avaient été retenues pour le mandat de recherche intitulé "réalisation des essais en voie de normalisation européenne sur un échantillonnage de granulats suisses utilisés en construction routière" (mandat de recherche OF N° 22/92).

Les différentes natures pétrographiques des granulats retenus pour ce mandat sont représentatives de la production d'agrégats suisses utilisés pour la confection de bétons bitumineux de type S. L'implantation géographique des trois sites couvre la Suisse occidentale, centrale et orientale.

Ainsi, les carrières et natures de roches sélectionnées sont les suivantes :

- ARVEL, Villeneuve (VD) — Calcaire siliceux du Lias
- BALMHOLZ, Sundlauenen (BE) — Calcaire siliceux du Crétacé
- BASALTSTEIN, Buchs (SG) — Grès alpin

5.2. Mode d'élaboration

Le choix des différents modes de concassage s'est fait de manière à obtenir des gravillons présentant des arêtes plus ou moins vives ou émoussées. Les trois modes retenus sont les suivants :

- concasseur à marteaux (pour des granulats à arêtes vives),
- concasseur à sole tournante autobroyant (arêtes émoussées),
- concasseur à sole tournante à enclumes (arêtes légèrement émoussées).

Pour chacun des modes et des origines retenus, le concasseur a été alimenté par 12 tonnes de ballast 22/32. L'acheminement des matériaux depuis les trois carrières s'est fait par camion. Les matériaux, non lavés, ont été déchargés directement de la benne du camion dans le godet de la chargeuse puis dans la trémie d'alimentation du concasseur. C'est chaque fois le même concasseur qui a servi à produire les granulats des trois provenances.

Les matériaux ainsi concassés ont été repris sous forme de 0/11 par un camion toupie puis conditionnés en big-bag fermés de capacité d'un mètre cube. L'identification de chaque big-bag a été réalisée à l'aide d'une plaque métallique gravée et attachée au sac. De plus un plan de stockage des big-bag a été édité, permettant ainsi de savoir quel type de matériau il contient en cas de perte de l'étiquette.

La chaîne d'élaboration ainsi conçue et l'application d'un Plan d'Assurance Qualité (P.A.Q.) pour le conditionnement du 0/11 produit a permis d'éviter toute pollution extérieure du matériau et toute confusion entre deux big-bag.

5.3. Tri des matériaux

Au vu des quantités importantes de matériaux nécessaires à l'étude, une première tentative de tri à l'aide d'un petit crible industriel a été entreprise. Les résultats peu concluants au niveau de la régularité du criblage et les difficultés rencontrées pour l'alimentation et la récupération des matériaux nous ont contraints à nous rabattre sur des méthodes de tri en laboratoire.

5.3.1. Granulométrie

La méthode de tri des formes avec des tamis à barres nous a imposé de séparer le matériau selon les fractions suivantes :

- 0/1,4
- 1,4/2
- 2/2,8
- 2,8/4
- 4/5,6
- 5,6/8
- 8/11,2

Pour cela, nous avons utilisé une tamiseuse de laboratoire avec des tamis de dimensions 50x50cm à mailles carrées.

Pour chaque provenance de matériau, la quantité de 0/11 introduite dans la colonne de tamis est de 10kg et le temps de tamisage de 10 minutes. Chaque fraction récupérée a été conditionnée dans des caissettes en plastique étiquetées.

5.3.2. Forme des grains

Au vu de la quantité de granulats nécessaires à la fabrication des échantillons d'enrobés soumis aux essais, il n'était guère envisageable d'effectuer le tri, entre granulats cubiques et non cubiques, à la main. Nous avons donc opté pour un tri mécanique beaucoup plus rapide.

Comme pour les mandats précédents (mandats OF n° 02/89 et 24/91), la méthode retenue découle de la mesure du coefficient d'aplatissement des granulats [réf. 7] figurant dans les normes françaises. Cela ayant déjà été fait pour la première partie de la recherche, nous ne reviendrons pas sur le détail de cette méthode. Nous rappellerons cependant, que le principe consiste à tamiser la fraction voulue au travers d'un tamis constitué non pas de mailles carrées, mais de fentes définies par un espacement entre deux barres (tamis à barres). L'écartement e des barres des tamis utilisés ici est fonction de la fraction tamisée et vaut $\mathbf{d_2/1.58}$ pour une fraction $\mathbf{d_1/d_2}$.

Excepté pour la fraction 0/1.4 qui n'a pas pu être triée, toutes les fractions ont été triées aux tamis à barres.
Le tableau ci-après, résume les différentes mailles ainsi que les différents écartements des barres selon les fractions tamisées.

Tamis maille sup. d_1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11.2
Tamis maille inf. d_2	0	1.4	2	2.8	4	5.6	8
Ecartement barres e	non trié	0.9	1.3	1.8	2.5	3.5	5.1
Rapport d_2/e	-	1.56	1.54	1.56	1.60	1.60	1.57

Tableau 1 : *mailles et écartement des barres en fonction des fractions.*

Les temps de tamisage aux tamis à barres ont été fixés à 10 minutes. Quant à la charge par tamis, elle est fonction de la fraction considérée soit :

- fraction 1.4/2 500 g
- fraction 2/2.8 600 g
- fraction 2.8/4 700 g
- fraction 4/5.6 800 g
- fraction 5.6/8 1'000 g
- fraction 8/11.2 1'200 g

Ces paramètres ont été bloqués pour toutes les provenances.

Etant donné que les méthodes du tamis à barres et du pieds à coulisse ne peuvent être corrélées, il a été nécessaire, avant le tri aux tamis à barre, de déterminer, selon SN 670 130, le taux de cubicité de chaque fraction pour chaque provenance.

Le tableau ci-dessous, résume les taux de cubicité obtenus naturellement par concassage. La dénomination des différentes formules fait l'objet du sous-chapitre 5.4.

	AR-G	AR-B	AR-K	BU-G	BU-B	BU-K	BA-G	BA-B	BA-K
Fraction 8/11.2			77	63	75	70	62	66	67
Fraction 5.6/8	64	70	66	61	59	62	63	63	59
Fraction 4/5.6	50	65	63	58	67	65	53	54	58
Fraction 2.8/4	70	68	59	55	64	57	58	58	57
Fraction 2/2.8	58	70	54	63	70	61	53	63	49
Fraction 1.4/2	78	66	54	57	67	50	57	65	40

Tableau 2 : *taux de cubicité des fractions après le passage aux tamis à mailles et avant le passage aux tamis à barres.*

Chaque taux de cubicité annoncé est le résultat d'une double analyse au pied à coulisse selon SN 670 130, dont l'écart admis entre deux essais successifs doit être inférieur à 2%, faute de quoi il est répété.

Selon le taux de cubicité demandé (50% ou 70% selon les formules) il a été nécessaire de séparer les fractions en éléments cubiques et non cubiques avec des taux de cubicité permettant leur recomposition au taux final demandé.

Après chaque passage au tamis à barres, le refus (majorité d'éléments cubiques) et le passant (majorité d'éléments non cubiques) ont fait l'objet d'un double contrôle au pied à coulisse. Ces analyses systématiques ont permis de déterminer, pour chaque fraction et pour chaque provenance, le nombre de passages nécessaires au tamis à barres pour

obtenir les taux de cubicité permettant la recomposition. A titre d'exemple, le tableau, ci-dessous, donne l'évolution du taux de cubicité du refus de chaque fraction de la formule BA-K en fonction du nombre de passage à travers le tamis à barres. Les valeurs du tableau sont exprimées en % nombre (cubicité retenue pour cette formule : 70%).

	Taux de cubique après le passage au tamis à maille	Taux de cubicité en fonction du nombre de passages au tamis à barres						
		1x	2x	3x	4x	5x	6x	7x
Fraction 8/11.2	67	83						
Fraction 5.6/8	59	70						
Fraction 4/5.6	58	61	65	67	70			
Fraction 2.8/4	57	61		68	70			
Fraction 2/2.8	49			56			70	
Fraction 1.4/2	40				59		67	70

Tableau 3 : *Evolution du taux de cubicité des fractions en fonction du nombre de passages au tamis à barres.*

Remarque :

La recomposition entre refus et passant du tamis à barre pour obtenir une fraction au taux de cubicité désiré (50% ou 70%) ne peut raisonnablement être faite en comptant les grains. Dès lors, une petite erreur est possible puisqu'il y a une ambiguïté entre % nombre et % poids. Cette erreur reste toutefois admissible, puisque l'écart entre pour cent nombre et pour cent poids de tous les contrôles effectués ne dépasse pas 3% (cf. annexe 2).

5.4. Identification des fractions

Chaque fraction a été identifiée selon les critères suivants :

- provenance
- mode de concassage
- granulométrie d_1/d_2
- taux de cubicité

La provenance a été définie par les deux premières lettres de la carrière, à savoir :

- **AR** pour Arvel
- **BA** pour Balmholz
- **BU** pour Buchs

Le mode de concassage est identifié par la première lettre du concasseur utilisé, soit :

- **K** pour le concasseur à marteaux,
- **G** pour le concasseur à sole tournante à enclumes,
- **B** pour le concasseur à sole tournante autobroyant.

Exemple :

Une fraction provenant de Buchs, concassée à travers le concasseur à sole tournante autobroyant, sera désignée par :

BU – B 4/5.6 **# 70%**

Les paramètres d'identification de la provenance et du mode de concassage sont ceux retenus pour la suite du rapport.

6. Essais en laboratoire

6.1. Essais sur granulats

Un des objectifs majeurs de cette recherche était de sélectionner ou mettre au point les outils permettant de mieux caractériser la forme des granulats, en particulier l'état des arêtes et des faces des grains.

L'étude précédente avait en effet montré l'incidence de ces paramètres sur le comportement d'un mélange bitumineux. Il importait donc de mettre à disposition des laboratoires les instruments qui permettent de mettre en évidence les propriétés géométriques des granulats.

Pour réaliser cette tâche, nous avons poussé les investigations dans 2 domaines, à savoir :

- les **méthodes directes** de caractérisation de la forme des grains, en recensant et en étudiant les coefficients géologiques et géotechniques existants permettant de caractériser la forme globale et l'angularité du grain
- les **méthodes indirectes**, en réalisant des essais susceptibles de caractériser la forme et l'angularité des granulats. Les essais retenus ou mis au point pour cette étape sont les suivants :
  - essai de cisaillement [réf. 8]
  - essai d'écoulement des sables [réf. 9] et des gravillons [réf. 10]
  - essai de porosité [réf. 11]
  - essai de perméabilité [annexe 3]
  - essai d'indentation sur mélange sable/bitume [annexe 4]

  Pour caractériser les matériaux utilisés, nous avons également réalisé les essais de qualification prescrits par la norme SN 670 130, à savoir :
  - pétrographie [réf. 1]
  - sédimentométrie [réf. 12] (sur les fillers)
  - Los Angeles [réf. 13] (sur les gravillons)
  - pouvoir rigidifiant [réf. 1] (sur les fillers)

6.2. Essais sur mélange bitumineux

6.2.1. Formulation

Afin de pouvoir exploiter les résultats obtenus dans la première étape et les comparer aux résultats de la présente étude, nous avons sélectionné la même recette de mélange bitumineux, en l'occurrence un AB 11S. La composition granulométrique est identique, à l'exception de la teneur en filler, un peu plus faible (7.5 % au lieu de 8 %). La teneur en liant a du également être diminuée (5,70 % au lieu de 6 %) pour pouvoir satisfaire à la compacité (teneur en vides résiduels Marshall désirés : environ 4 %). Les caractéristiques du mélange sont les suivantes :

	Composition granulométrique [% passant]							
Liant / enrobé [%]	# 0,09 [%]	# 1,4 [%]	# 2,0 [%]	# 2,8 [%]	# 4,0 [%]	# 5,6 [%]	# 8,0 [%]	# 11,2[%]
5,70	7,5	36	43	50	58	70	85	100

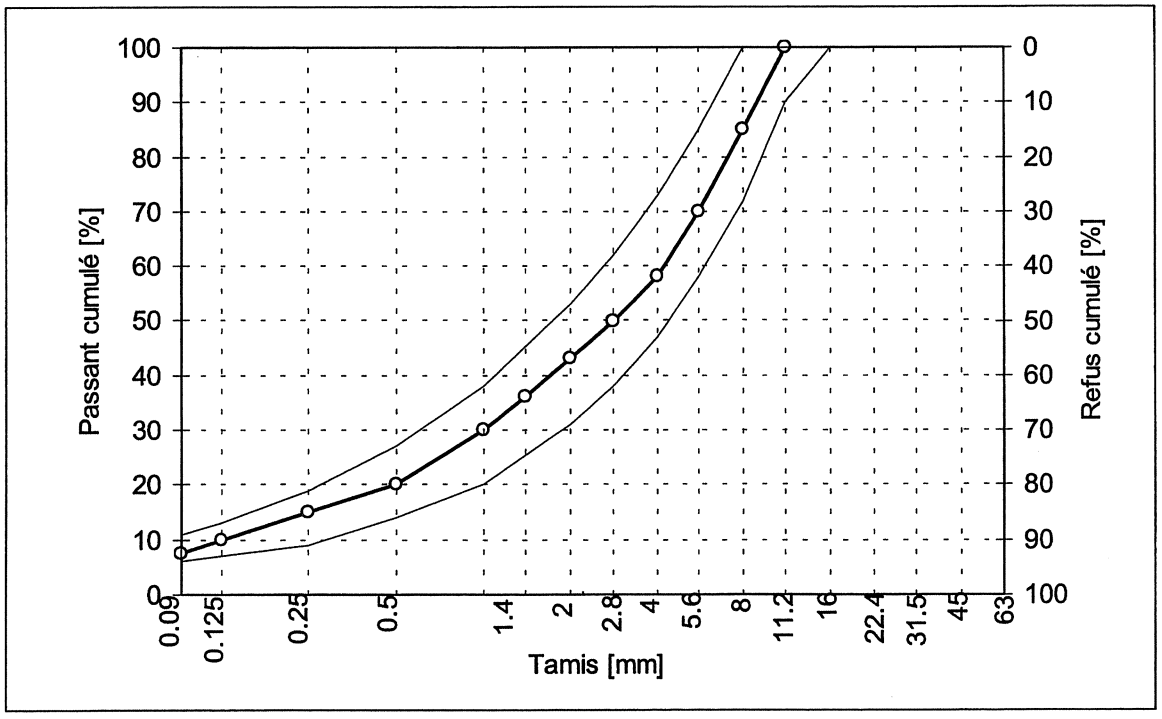


Figure 2 : *composition granulométrique de la formule AB 11S sélectionnée.*

6.2.2. Plan d'expérience

Un plan d'expérience a été élaboré pour permettre d'évaluer l'influence des paramètres principaux, en l'occurrence :

- le taux de cubicité,
- la nature pétrographique,
- la nature des fines,
- le mode de concassage (état des arêtes),

sur la susceptibilité à l'orniérage du mélange bitumineux.

Pour la première étape du plan d'expérience, les mélanges suivants ont été réalisés :

1ère étape du plan d'expérience

1 facteur à 1 niveau : Bitume
2 facteurs à 2 niveaux : Nature du filler, taux de cubicité
2 facteurs à 3 niveaux : Provenance de la roche, type de concasseur

Paramètres

	Bitume	Taux de cubicité	Filler	Carrière [1]	Concasseur [2]
Niveau 1	80/100	70%	récupéré	Ar	B
Niveau 2		50%	apport	Bu	K
Niveau 3				Ba	G

Formules du plan d'expérience

	Bitume	Taux de cubicité	Filler	Carrière [1]	Concasseur [2]
Formule 1	80/100	70%	apport	Ar	B
Formule 2	80/100	50%	apport	Bu	G
Formule 3	80/100	70%	apport	Ba	K
Formule 4	80/100	50%	apport	Bu	K
Formule 5	80/100	50%	apport	Ba	B
Formule 6	80/100	50%	apport	Ar	G
Formule 7	80/100	70%	apport	Ba	G
Formule 8	80/100	70%	apport	Ar	K
Formule 9	80/100	70%	apport	Bu	B

1) Carrières : Ar = Arvel, Bu = Buchs, Ba = Balmholz
2) Concasseur : B = à sole tournante autobroyant, K = à percussion, G = à sole tournante à enclumes

Tableau 4 : *1ère étape du plan d'expérience, mélanges réalisés*

Cette première étape était destinée à étudier les effets principaux des paramètres sélectionnés, à l'exception de la nature du filler. L'incidence de ce paramètre dans le comportement d'un mélange bitumineux a fait l'objet du 2ème plan d'expérience :

2ème étape du plan d'expérience

3 facteurs à 2 niveaux : Nature du filler, taux de cubicité, dureté du bitume
2 facteurs à 3 niveaux : Provenance de la roche, type de concasseur

Paramètres

	Bitume	Taux de cubicité	Filler	Carrière [1]	Concasseur [2]
niveau 1	60/70	70%	récupéré	Ar	B
niveau 2	80/100	50%	apport	Bu	K
niveau 3				Ba	G

Formules du plan d'expérience

	Bitume	Taux de cubicité	Filler	Carrière [1]	Concasseur [2]
Formule 10	60/70	70%	récupéré	Bu	B
Formule 11	80/100	70%	apport	Ar	K
Formule 12	80/100	50%	apport	Ba	B
Formule 13	80/100	70%	apport	Bu	G

1) Carrières : Ar = Arvel, Bu = Buchs, Ba = Balmholz
2) Concasseur : B = à sole tournante autobroyant, K = à percussion, G = à sole tournante à enclumes

Tableau 5 : *2ème étape du plan d'expérience, mélanges réalisés*

6.2.3. Essais sur béton bitumineux

A l'exception des essais de module et de fatigue, longs et coûteux, et qui n'avaient pas mis en évidence des relations significatives entre leurs résultats et les caractéristiques de cubicité et d'état des arêtes, les autres essais retenus pour l'étude précédente ont été reconduits, à savoir :

- essai à l'orniéreur LPC,
- essai Marshall,
- essai à la presse à cisaillement giratoire (PCG).

7. Synthèse des résultats

7.1. Tableau de synthèse des résultats des essais sur béton bitumineux

Formule	1	2	3	4	5
Paramètres					
Carrière [1]	Ar	Bu	Ba	Ar	B
Concasseur [2]	B	B	B	G	(
Taux de cubicité [%]	70%	70%	50%	50%	70
Bitume	80/100	80/100	80/100	80/100	80/
Filler	naturel	naturel	naturel	naturel	nat
Résultats Marshall					
Vides [%]	3.4	2.6	3.0	4.8	3
SM [kN]	10.1	11.5	10.5	9.8	10
FM [mm]	2.8	2.8	3.2	2.8	2
SM/FM [kN/mm]	3.6	4.1	3.3	3.5	4
Résultats PCG					
Compacité C_1 [%]	75.9	79.4	77.1	75.9	78
Vides C_1 [%]	24.1	20.6	22.9	24.1	22
Compacité C_{80} [%]	93.7	95.6	94.6	92.4	93
Vides C_{80} [%]	6.3	4.4	5.4	7.6	6
Compacité C_{200} [%]	97.1	98.4	97.7	95.6	96
Vides C_{200} [%]	2.9	1.6	2.3	4.4	3
Pente k [-]	4.1	3.7	4.0	3.7	3

Résultats ornière LCPC									
Compactage	fort	faible	fort	faible	fort	faible	fort	faible	fort
Vides [%]	2.8	6.2	2.3	5.0	3.6	6.9	5.1	8.8	4.4
Ornière 1000 cycles	15.5	9.3	12.5	9.3	12.0	6.3	5.0	4.6	3.9
Ornière 3000 cycles	22.0	17.2	22.9	14.6	20.4	8.7	7.4	5.9	5.1
Ornière 10000 cycles	37.0	34.0	44.4	23.9	36.8	12.2	11.2	7.8	6.8
Ornière 30000 cycles	-	-	-	-	-	16.7	16.3	9.9	8.9
Ornière 60000 cycles	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pente	0.38	0.38	0.45	0.41	0.49	0.29	0.35	0.22	0.25

1) Carrières : Ar = Arvel, Bu = Buchs, Ba = Balmholz
2) Concasseur : B = à sole tournante autobrayant, K = à marteua, G = à sole tournante à enclume

Tableau 6 : *Résul*

	6	7	9	8	10	11	12	13
	Ba	Ar	Bu	Ba	Bu	Ar	Ba	Bu
	G	K	K	K	B	K	B	G
	70%	70%	50%	70%	70%	70%	50%	70%
	80/100	80/100	80/100	80/100	55/70	80/100	80/101	80/102
	naturel	naturel	naturel	naturel	naturel	apport	apport	apport
	2.7	5.7	4.9	5.0	2.8	3.9	2.4	1.8
	10.9	9.7	10.9	9.5	13.7	11.0	10.5	11.4
	2.7	2.7	2.6	2.8	3.0	2.8	3.7	3.5
	4.1	3.6	4.2	3.4	4.7	3.9	2.8	3.3
	77.6	75.9	76.3	76.2	78.7	77.0	77.6	80.4
	22.4	24.1	23.7	23.8	21.3	23.0	22.4	19.6
	94.1	91.2	91.2	90.7	94.5	92.8	95.4	96.7
	5.9	8.8	8.8	9.3	5.5	7.2	4.6	3.3
	97.1	94.2	93.7	93.6	97.4	95.9	98.0	98.6
	2.9	5.8	6.3	6.4	2.6	4.1	2.0	1.4
	3.7	3.5	3.4	3.3	3.6	3.6	4.0	3.6

ible	fort	faible	fort	faible	fort	faible	fort	faible	fort	faible	fort	faible	fort	faible	fort	faible
6.6	3.9	8.0	6.0	10.0	4.9	8.3	4.9	9.0	2.2	5.7	4.7	8.4	2.6	5.2	2.6	5.7
4.0	6.3	5.6	2.5	4.9	3.3	5.1	3.4	4.1	7.2	4.5	3.9	4.2	13.5	14.3	12.0	6.0
5.4	9.1	7.1	3.1	6.1	4.1	6.3	4.4	5.3	9.5	5.7	4.8	5.1	17.2	23.3	15.2	7.9
7.5	13.7	9.3	4.1	7.8	5.2	8.0	5.6	7.2	12.9	7.2	6.1	6.5	28.6	39.8	22.8	10.7
0.0	15.7	11.8	5.2	9.8	6.4	10.0	7.1	9.5	17.0	9.0	7.7	8.0	-	-	-	14.0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.27	0.34	0.22	0.22	0.21	0.19	0.20	0.22	0.25	0.25	0.20	0.20	0.19	0.33	0.44	0.28	0.25

7.2. Tableaux de synthèse des résultats des essais sur granulats

Temps d'écoulement mesurés sur fractions granulaires									
Provenance de la roche	AR			BU			BA		
Concasseur	B	K	G	B	K	G	B	K	G
% éléments cubiques	70	70	50	70	50	70	50	70	70
0.09 / 1.4 mm 1) [s]	33	36	36	32	36	34	34	36	35
0.09 / 2.8 mm 2) [s]	16	17	17	16	18	16	17	17	16
8.0 / 11.2 mm 3) [s]	100	103	102	99	110	103	104	106	101

1) Sable 0.09 / 1,4 mm défillérisé (ouverture 12 mm)
2) Sable 0.09 / 2,8 mm défillérisé et recomposé avec cubicité définie (ouverture 16 mm)
3) Gravillons 8 / 11,2 recomposés avec cubicité définie

Tableau 7 : *Résultats des essais d'écoulement*

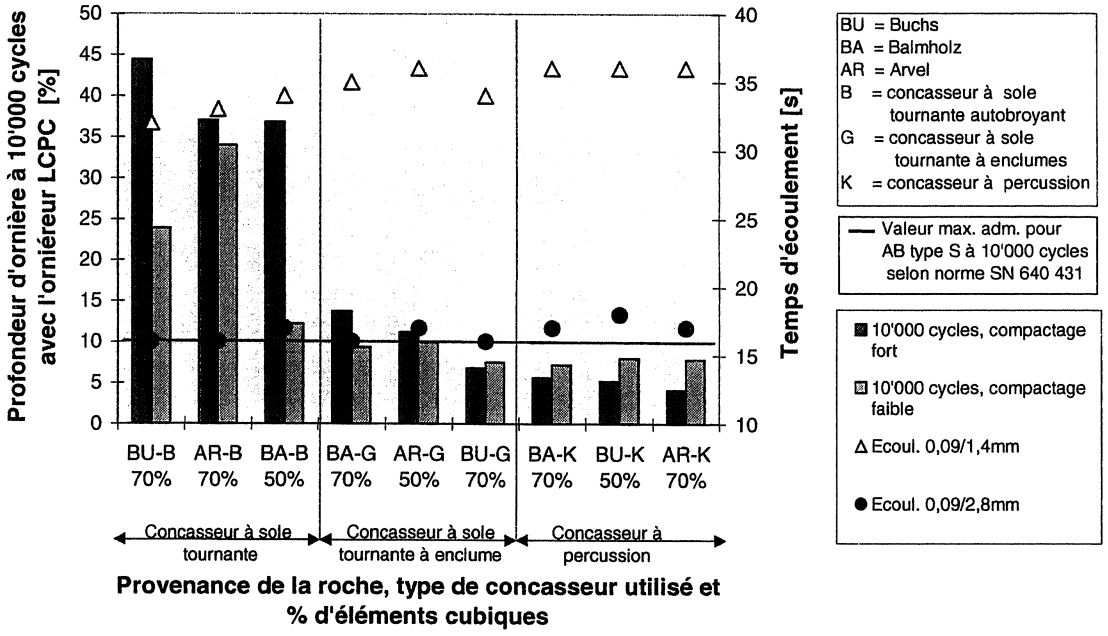


Figure 3 : *relation entre le taux d'orniérage à 10'000 cycles et le temps d'écoulement sur sable.*

7.3. Tableau des résultats d'indentation sur mélanges sable/bitume

	Provenance des sables	Types de bitumes	Teneur en bitume (%/E)	MVA [t/m3]	Charge pour indentation [N]	Température d'indentation [°C]	Indentation après 30' [mm]	Indentation après 60' [mm]	Augmentation indentation [mm]
Mélange N°1	Ar[1)]-K[2)]	B 80/100	10	1.935	525	40	1.23	1.24	0.01
Mélange N°2	Ar[1)]-K[2)]	B 80/100	11	1.932	525	40	1.08	1.09	0.01
Mélange N°3	Ar[1)]-K[2)]	B 180/220	8	1.945	525	40	0.92	0.93	0.01
Mélange N°4	Bu[1)]-B[2)]	B 80/100	10	1.931	525	40	0.99	1.00	0.02
Mélange N°5	Ar[1)]-K[2)]	B 80/100	10	1.890	525	40	1.12	1.14	0.02

1) Carrières : Ar = Arvel, Bu = Buchs, Ba = Balmholz
2) Concasseur : B = à sole tournante autobrayant, K = à marteua, G = à sole tournante à enclume

Tableau 8 : *Résultats d'indentation sur mélanges sable/bitume*

8. Commentaires

8.1. Caractérisation de la forme des granulats

8.1.1. Méthodes directes

Aucun coefficient donné dans les méthodes directes de caractérisation de la forme des granulats ne permet d'évaluer valablement et simplement l'état des arêtes. Nous pouvons néanmoins mentionner 2 coefficients utiles, à savoir :

- le coefficient de forme $\mathbf{f = 100*V/e^3}$, où **V** = volume, **e** = écartement minimal de deux plans parallèles tangents au grain,
- le coefficient d'angularité $\mathbf{A_f = \Sigma(180^\circ-\alpha_j)*h_j/r_i}$, où α_j = angle de deux portions rectilignes concourantes du contour de la projection, exprimé en degrés, $\mathbf{h_j}$ = distance entre le centre du plus grand cercle inscrit dans la projection et le sommet de l'angle, $\mathbf{r_i}$ = rayon du plus grand cercle inscrit dans la projection

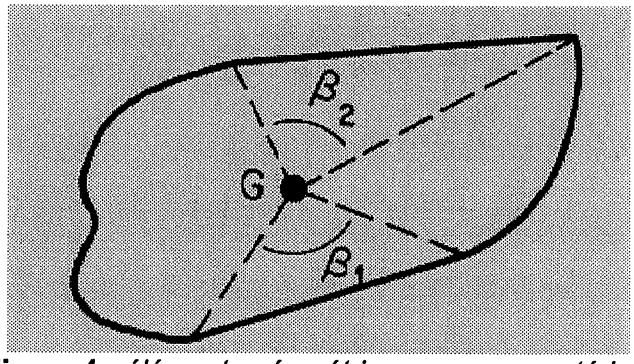


Figure 4 : *éléments géométriques pour caractériser le coefficient d'angularité*

8.1.2. Méthodes indirectes

Pour évaluer la forme des granulats, en particulier l'état des arêtes de façon indirecte, six types d'essai ont été retenus, à savoir :

- La mesure de la teneur en vides du minéral
- l'essai d'écoulement,
- l'essai de perméabilité,
- l'essai de porosité,
- l'essai triaxial,
- l'essai de cisaillement.

Les résultats obtenus dans une étude complémentaire [réf. 14] ont montré que les essais d'écoulement, de perméabilité, de porosité et triaxial sont significatifs pour les valeurs extrêmes, mais peu sensibles dans le domaine intermédiaire de taux d'émoussage des arêtes.

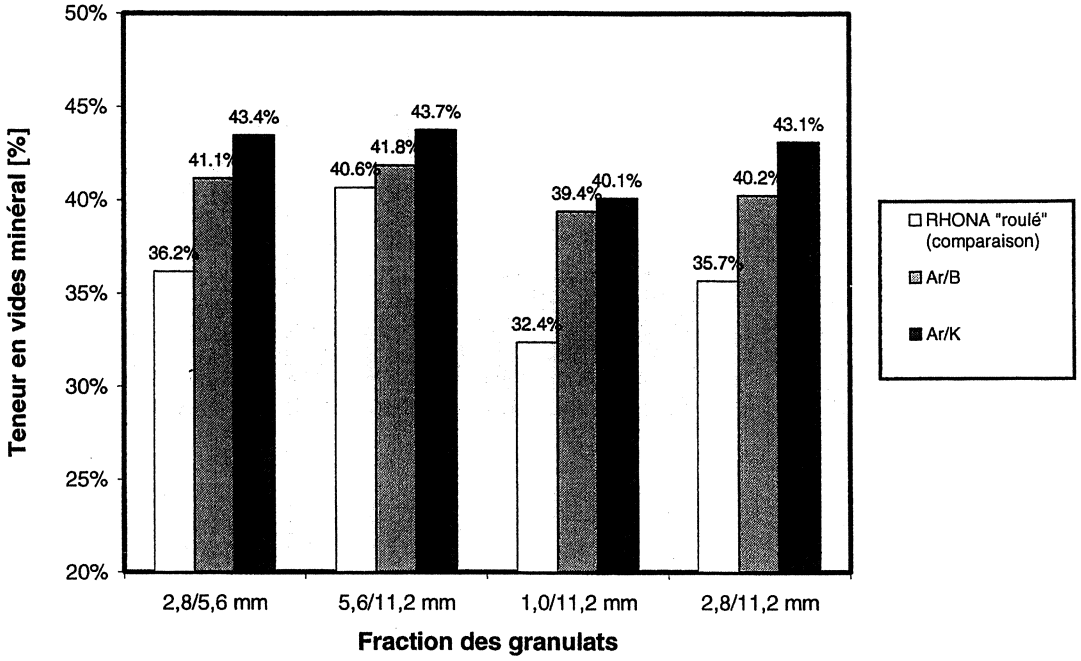


Figure 5 : *relation entre la nature de la roche, le mode de concassage et la teneur en vides du minéral pour différentes fractions granulaires.*

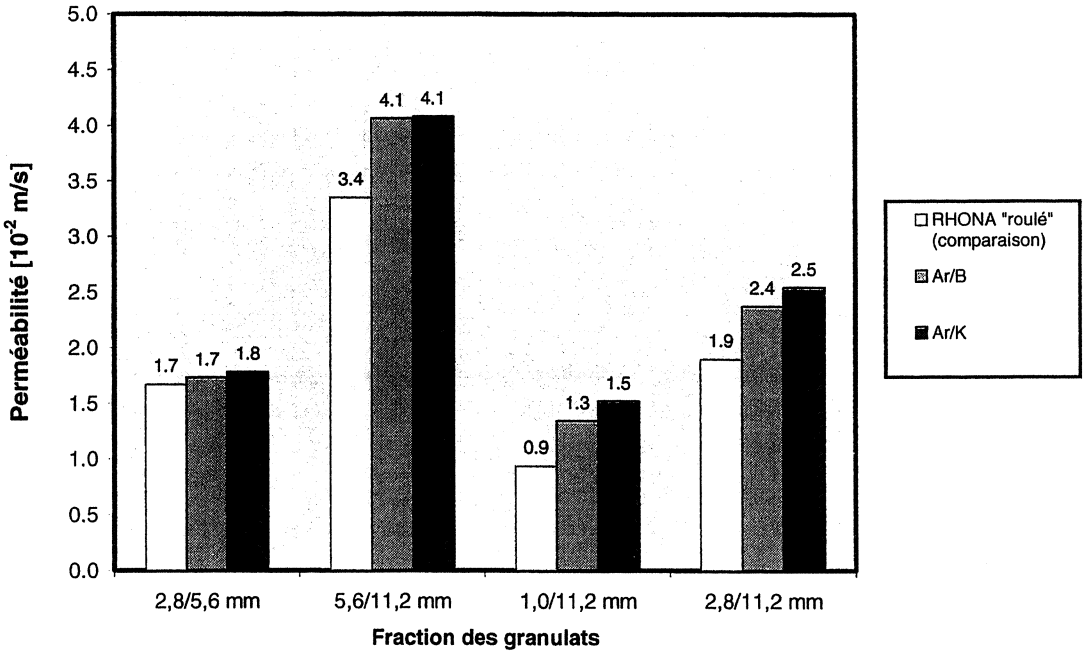


Figure 6 : *relation entre la nature de la roche, le mode de concassage et perméabilité des granulats pour différentes fractions.*

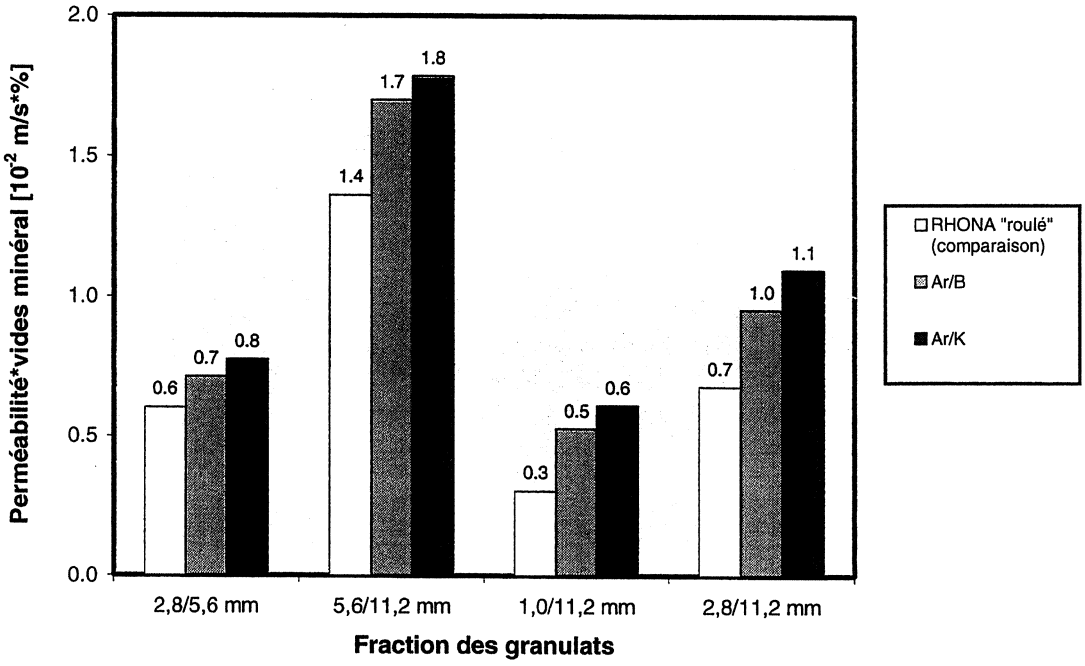


Figure 7 : *relation entre la nature de la roche, le mode de concassage et la perméabilité multipliée par le pourcentage de vides du minéral des granulats pour différentes fractions.*

On relèvera que les résultats avec des granulats issus de concasseurs à sole tournant se classent systématiquement entre les matériaux roulés et les matériaux élaborés avec un concasseur à percussion.

Les variations sont trop peu manifestes pour que l'on puisse établir des limites permettant de classer les matériaux entre domaines peu sensibles ou sensibles à l'orniérage.

Les résultats de l'essai de poinçonnement sur mélanges sable-bitume ne révèlent rien qui puisse être mis en corrélation avec les valeurs de déformation obtenues avec l'orniéreur LCPC.

8.2. Relation entre la forme des granulats et la déformabilité d'un enrobé

8.2.1. Effet de la cubicité

Dans cette étude, nous avons sélectionné deux taux de cubicité pour les gravillons, à savoir :

- 70 %
- 50 %

d'éléments cubiques [(*)], le taux de cubicité de la fraction sable (0,09-1,4 mm)variant selon le mode de concassage adopté. Ces taux correspondent grosso modo à ceux habituellement rencontrés dans les granulats produits en Suisse.

[(*)] *la norme SN 670 130 en vigueur durant l'étude limite la proportion d'éléments non cubiques.*
A compactage fort, il n'y a pas d'incidence du taux de cubicité avec la susceptibilité à l'orniérage des échantillons testés. Les taux de déformation obtenus à 30 ou 50 % d'éléments cubiques sont semblables pour des mélanges dont les granulats sont issus d'un même mode de concassage.

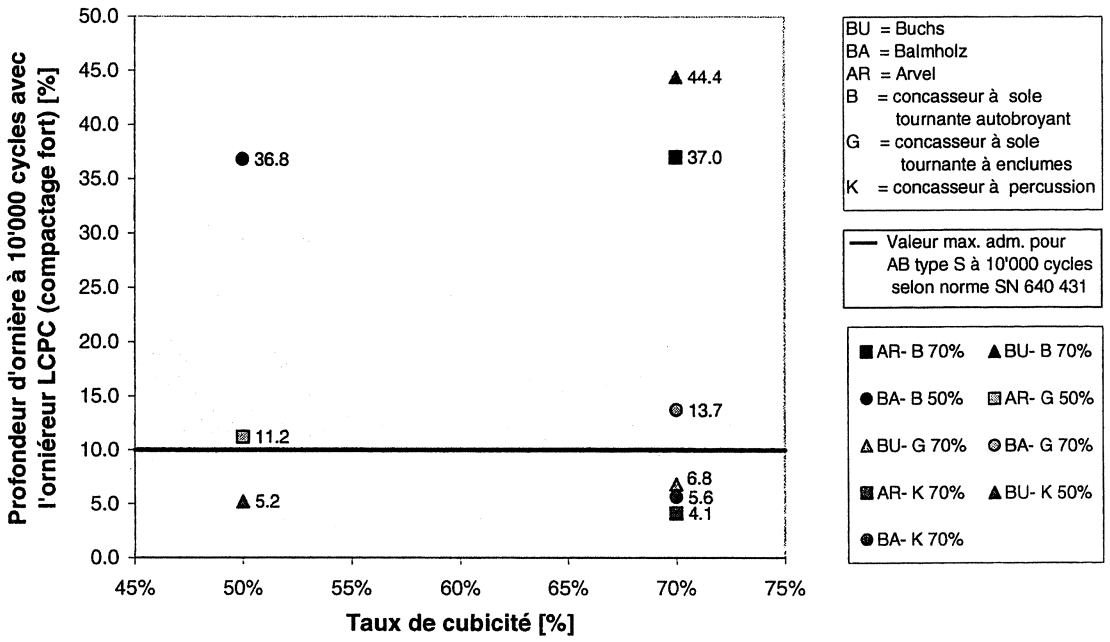


Figure 8 : *relation entre la cubicité et la profondeur d'ornière mesurée à 10'000 cycles (compactage fort).*

A compactage faible, par contre, nous observons une influence du taux de cubicité pour des enrobés élaborés avec des granulats issus d'un concasseur à sole tournante autobroyant, donc présentant des arêtes émoussées.

Pour des mélanges réalisés avec des granulats issus d'autres modes de concassage, il n'y a pas d'influence manifeste de la proportion d'éléments cubiques sur le taux d'orniérage.

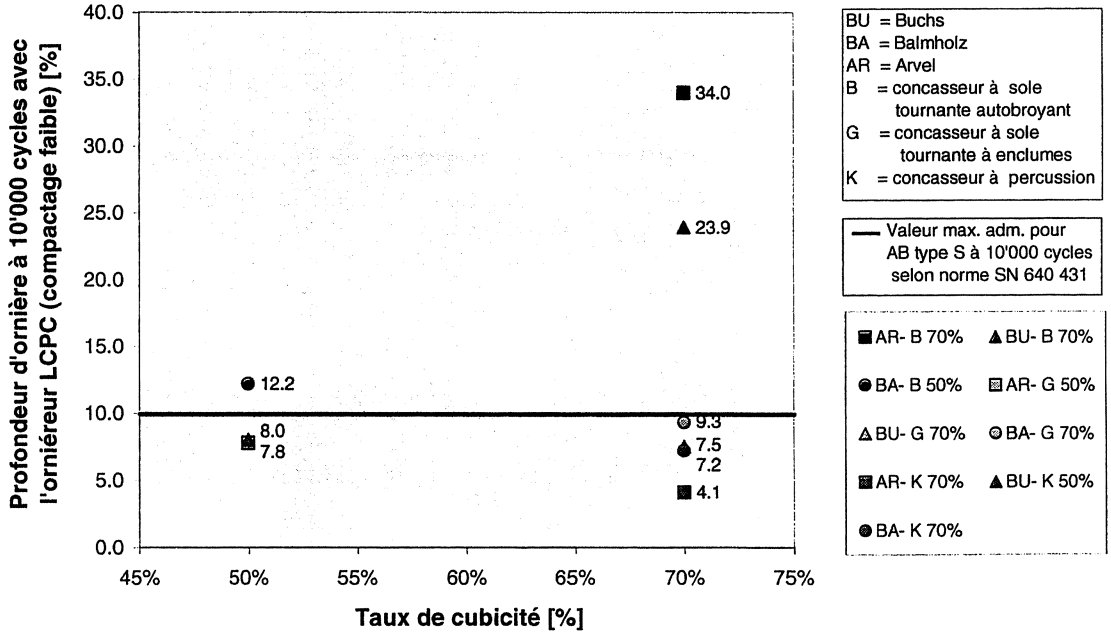


Figure 9 : *relation entre le taux de cubicité des granulats et la profondeur d'ornière mesurée à 10'000 cycles (compactage faible).*

8.2.2. Effet de l'état des arêtes

Chacun des concasseurs utilisés a un effet différent sur l'état des arêtes des granulats :

- le concasseur à sole tournante autobroyant, en projetant les grains contre un matelas de granulats émousse leurs arêtes par un effet d'attrition,
- le concasseur à percussion, appelé aussi concasseur à marteaux, confère aux granulats des arêtes vives,
- le concasseur à sole tournante autobroyant et à enclumes quant à lui est supposé fournir des granulats avec des arêtes légèrement émoussées.

Par contre, nous notons un effet discriminant du mode de concassage :

- les mélanges fabriqués avec des granulats issus du concasseur à percussion sont peu susceptibles.,
- ceux réalisés avec des granulats issus du concasseur à sole tournante autobroyant se révèlent au contraire être très susceptibles à l'orniérage.,
- enfin, ceux réalisés avec des granulats issus du concasseur à sole tournante à enclumes montrent une susceptibilité élevée aux déformations. Les résultats se situent entre les valeurs obtenues avec les granulats élaborés avec les deux autres types de concasseur.

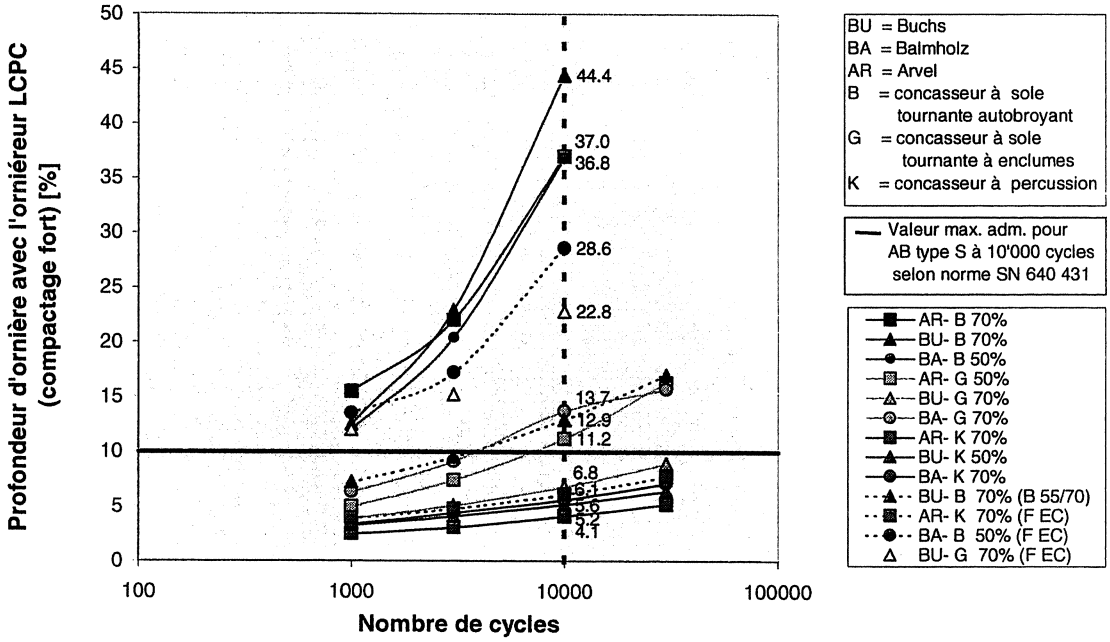


Figure 10 : *résultats au simulateur de trafic, compactage fort*

A compactage faible, on observe les mêmes tendances.

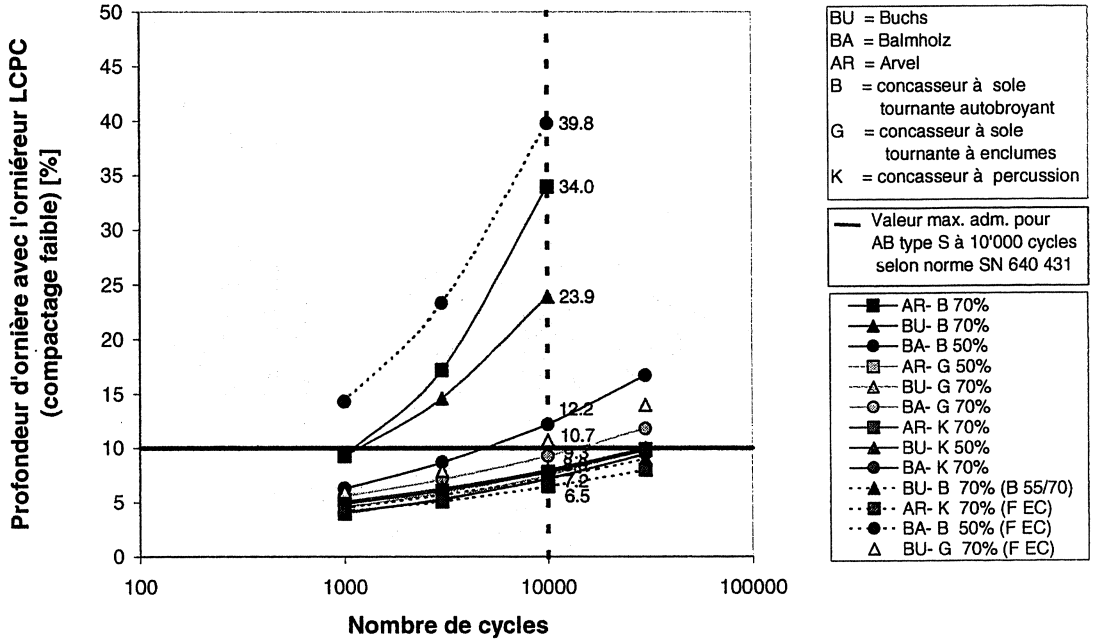


Figure 11 : *résultats au simulateur de trafic, compactage faible.*

8.2.3. Effet de la nature pétrographique

En analysant les résultats d'orniérage obtenus à compactage fort et faible, on constate que l'on ne peut pas tirer d'enseignement lié l'effet de la nature pétrographique des trois granulats testés.

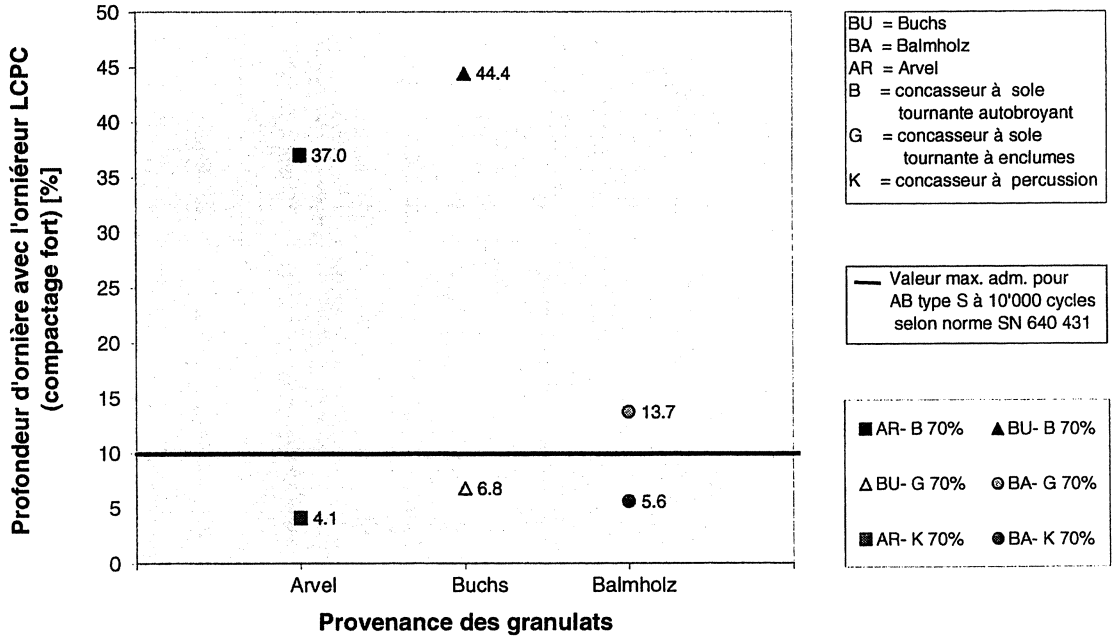


Figure 12 : *effet de la nature pétrographique sur le taux d'orniérage, compactage fort.*

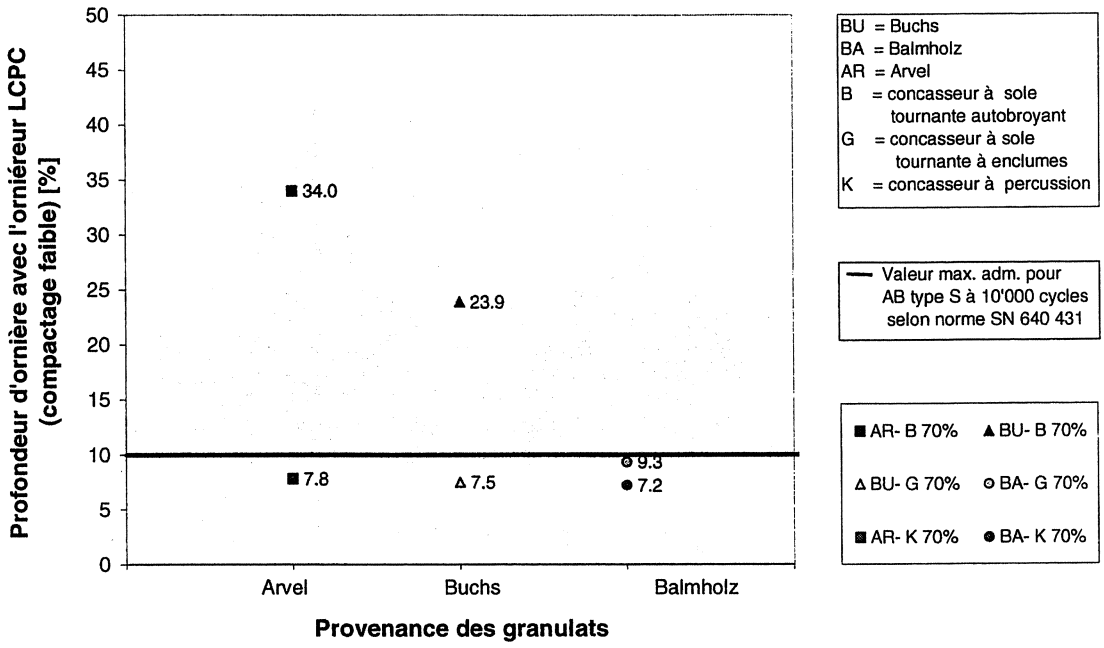


Figure 13 : *effet de la nature pétrographique sur le taux d'orniérage, compactage faible.*

8.3. Autres effets

8.3.1. Effet de la nature du filler

Pour cette recherche, les formules de la première étape du plan d'expérience ont été réalisées avec le filler naturel contenu dans le sable. Nous avons doublé certaines de ces formules dans une 2ème étape en utilisant cette fois un filler industriel provenant d'Eclépens. A compactage fort comme à compactage faible, il n'est pas possible de distinguer un effet de la nature des fines. Certaines tendances que l'on peut constater avec certaines formules se révèlent être inverses avec d'autres, sans que l'on puisse attribuer cette inversion au taux de cubicité, au mode de concassage ou à la nature pétrographique des fines naturelles.

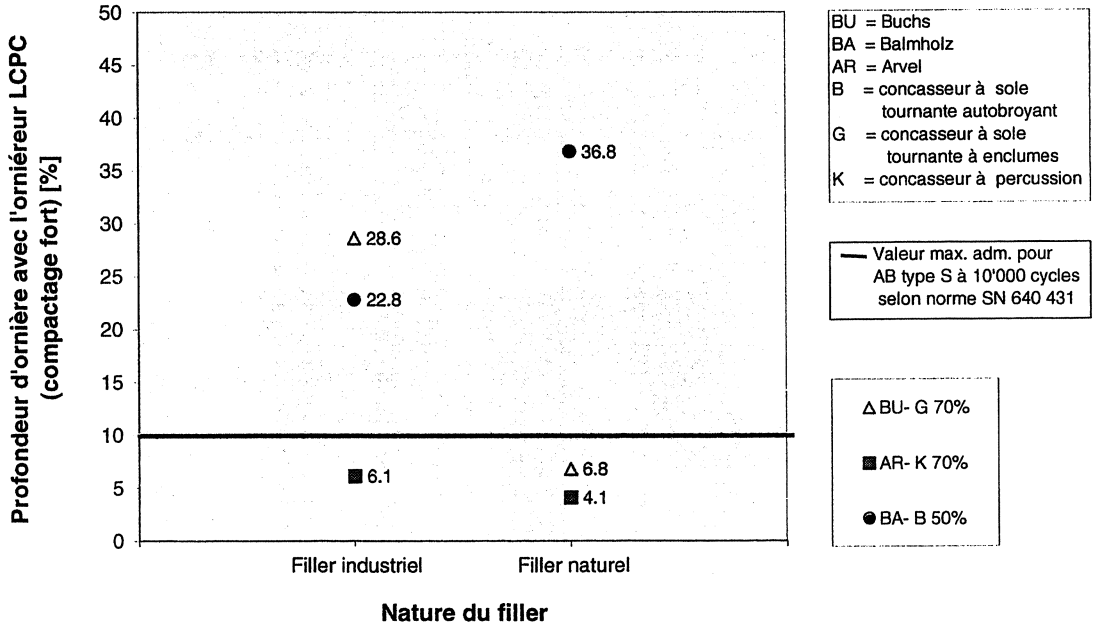


Figure 14 : *effet de la nature des fines sur le taux d'orniérage, compactage fort.*

A compactage fort, nous observons une certaine relation entre les deux paramètres. A compactage faible par contre, la relation est moins prononcée.

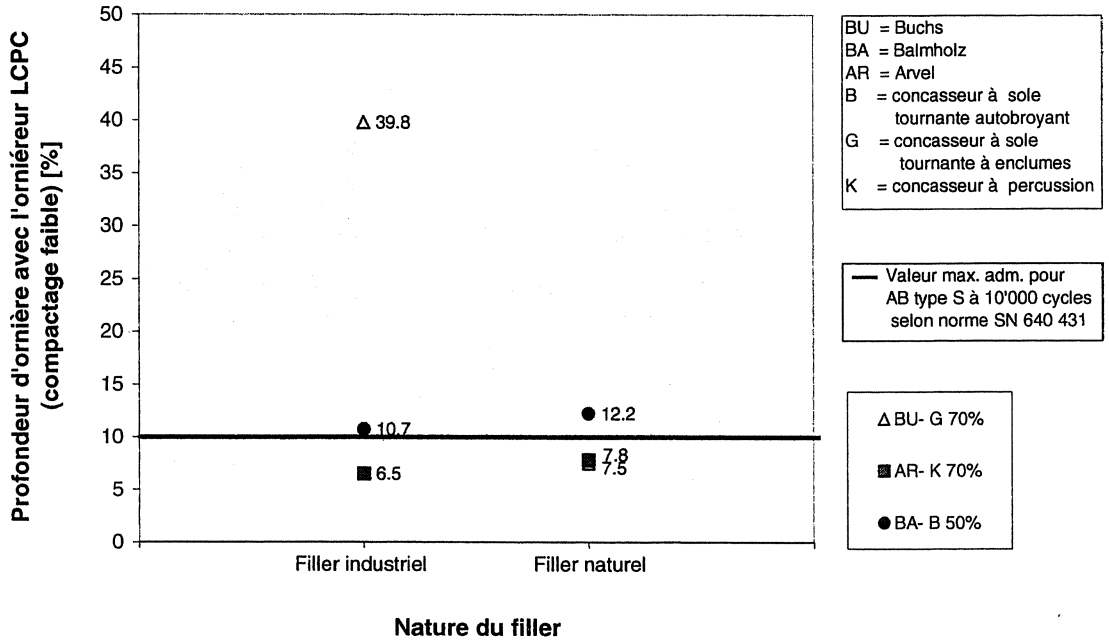


Figure 15 : *effet de la nature des fines sur le taux d'orniérage, compactage faible.*

En comparant les résultats de taux d'orniérage au pouvoir rigidifiant des fillers utilisés, nous observons une certaine relation entre les deux paramètres, lorsque les éprouvettes soumises à l'essai d'orniérage ont subi un compactage fort.

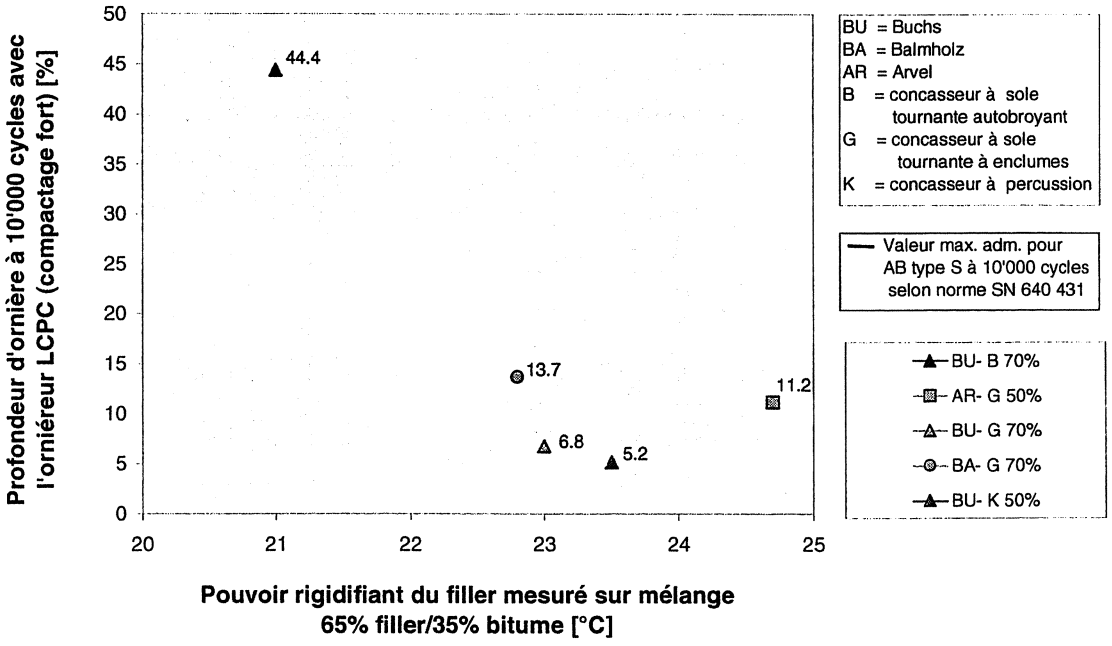


Figure 16 : *relation entre le pouvoir rigidifiant du filler et le taux d'orniérage obtenu à compactage faible.*

A compactage faible par contre, la relation est moins prononcée.

Les résultats obtenus ne permettent toutefois pas d'établir une limite de pouvoir rigidifiant en relation avec la susceptibilité à l'orniérage des enrobés

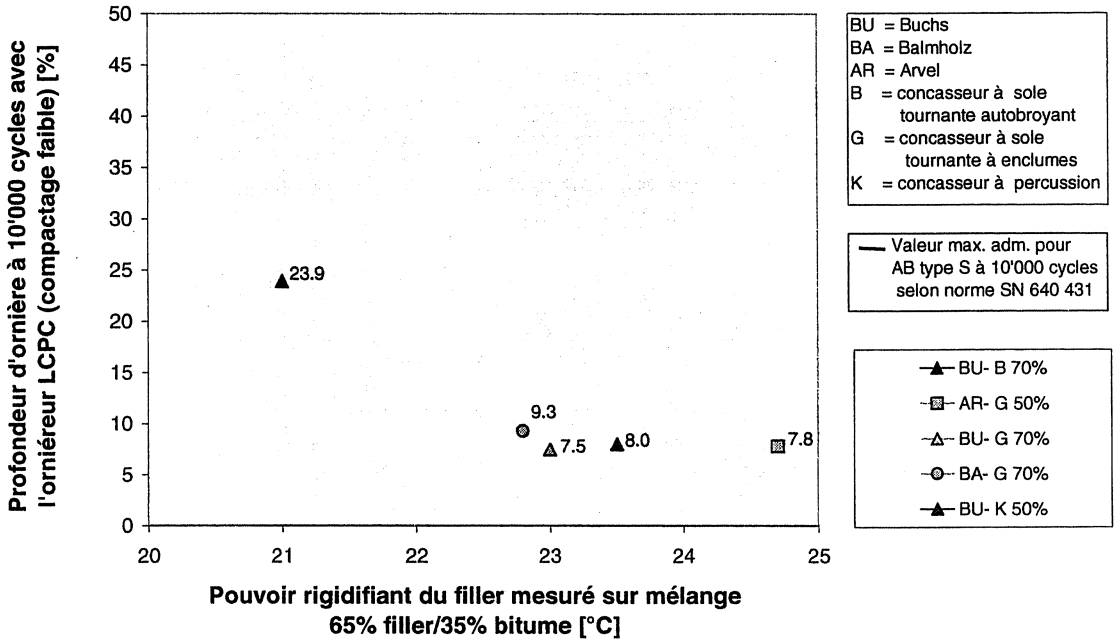


Figure 17 : *relation entre le pouvoir rigidifiant du filler et le taux d'orniérage obtenu à compactage faible.*

8.3.2. *Effet de la dureté du bitume*

Il y a une relation très nette entre la dureté du bitume utilisé et le taux d'orniérage mesuré à l'essai à l'orniéreur LCPC. Par contre, l'effet de la dureté du bitume sur les résultats de stabilité Marshall est plutôt insignifiant.

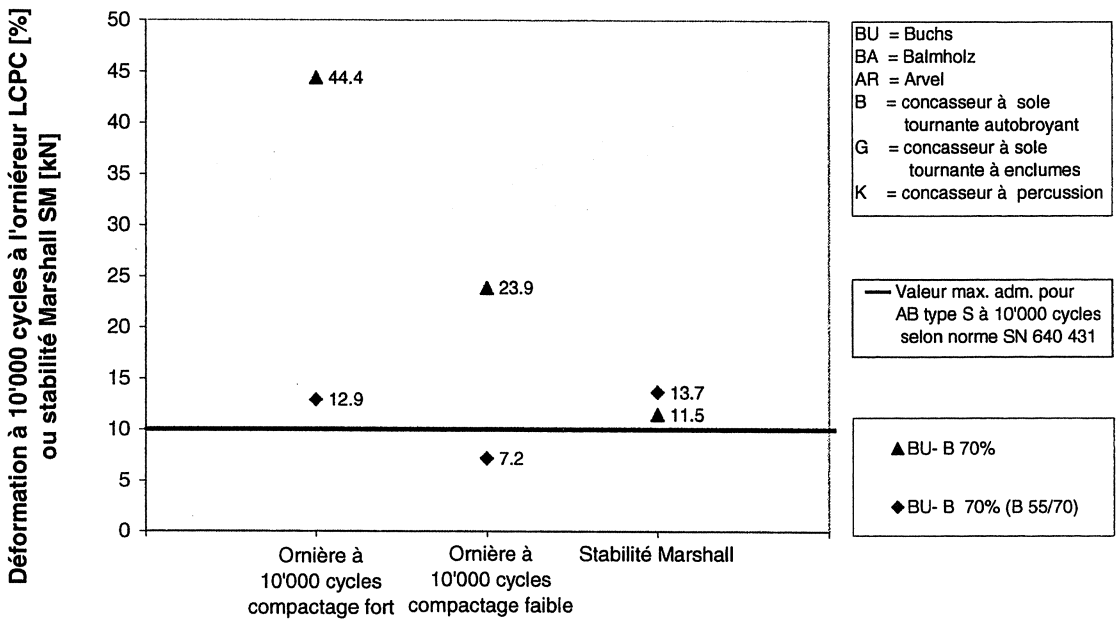


Figure 18 : *effet de la dureté du bitume sur les résultats d'orniérage et de stabilité Marshall.*

8.3.3. *Compactibilité des mélanges bitumineux*

Il y a un effet manifeste du mode d'élaboration des granulats sur la pente de compactage k mesurée à l'essai PCG. Les pentes les plus faibles sont obtenues sur les mélanges avec granulats issus du concasseur à percussion, tandis que les valeurs les plus élevées sont obtenues avec les granulats élaborés avec le concasseur à sole tournante autobroyant. Entre ces valeurs, nous trouvons celles des mélanges avec granulats concassés avec le concasseur à sole tournante à enclumes.

La plage des valeurs de pente obtenues ne permet cependant pas d'établir de limite en relation avec la susceptibilité à l'orniérage des enrobés.

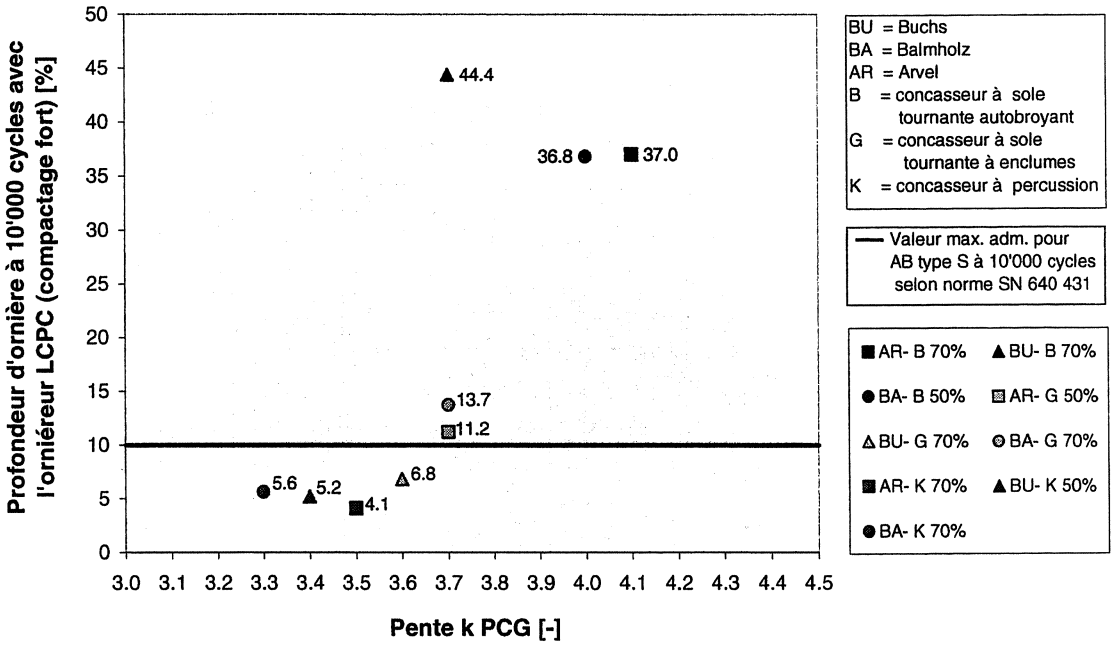


Figure 19 : *relation entre la pente K obtenue à la PCG et l'ornière obtenue à 10'000 cycles, compactage fort.*

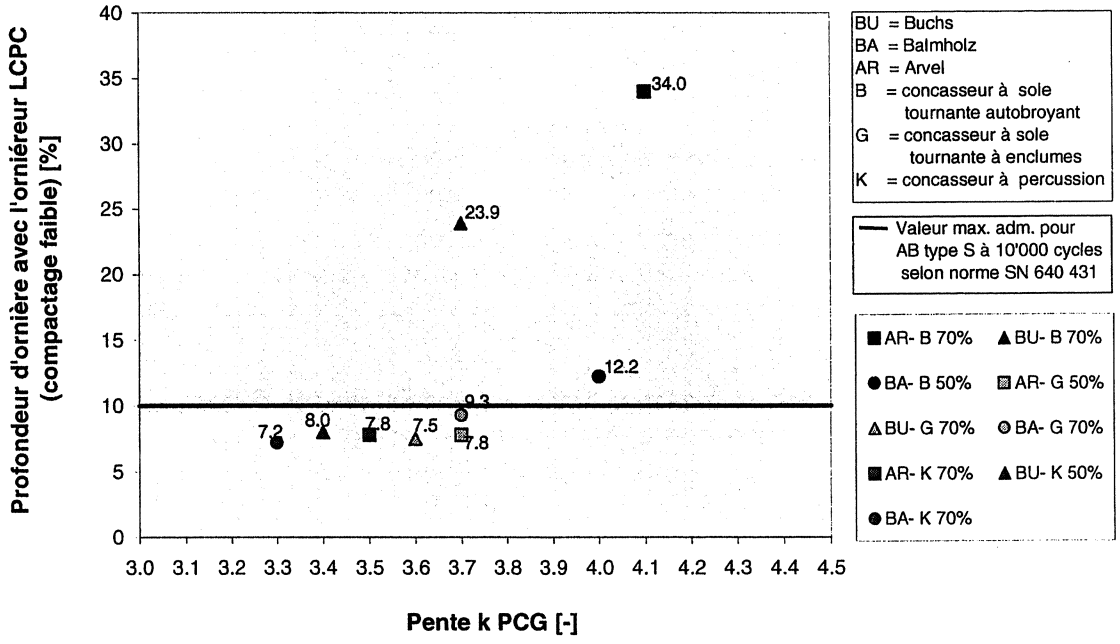


Figure 20 : *relation entre la pente K obtenue à la PCG et l'ornière obtenue à 10'000 cycles, compactage faible.*

9. Effets sur la normalisation

L'aboutissement de cette recherche a permis la mise à jour de la nouvelle norme SN 670130 adoptée en mai 1998. Les points suivants découlent directement des résultats obtenus :

- Forme du grain (article 9 chapitre B) :

  La nouvelle norme définit maintenant de façon plus précise la forme du grain. Sous cette appellation sont regroupés trois paramètres, à savoir

  - La cubicité ou la sphéricité du grain
  - L'arrondi du grain
  - L'état des arêtes d'un grain concassé.

  La notion d'état des arêtes est nouvelle. Dans la norme, il est précisé que les arêtes d'un grain concassé peuvent être plus ou moins vives en fonction des concasseurs utilisés, que l'état des arêtes peut avoir un effet important sur la susceptibilité aux déformations des revêtements bitumineux.

  Il est également mentionné qu'à l'heure actuelle, l'état des arêtes ne peut être évalué directement par un essai de laboratoire et qu'en cas d'utilisation dans une chaîne de concassage d'un concasseur susceptible d'émousser les arêtes, il est recommandé de vérifier la susceptibilité à l'orniérage sur un mélange bitumineux.

- Teneur admissible en grains non cubiques (tableau 6, article 17, chapitre C) :

  La nouvelle norme admet une teneur en éléments non cubiques plus importante que par le passé. Pour tous les types d'enrobé, la teneur maximale passe à 50 % alors que dans la précédente norme, la teneur maximale en élément s non cubiques était de 35 % pour les AB 6S et AB 11S, 40 % pour les AB 16S et 45 % pour le reste des AB et HMT.

  Les résultats de la recherche ont en effet mis en évidence le caractère arbitraire des limites maximales en éléments non cubiques qui étaient requises par la précédente norme.

  La recherche a également révélé que les concasseurs qui produisent des grains fortement cubiques sont généralement ceux qui ont tendance à émousser les arêtes. En conséquence, la nouvelle norme contient une teneur minimale admissible en grains non cubiques. Si cette limite n'est pas respectée, il est demandé de procéder à la vérification de la susceptibilité à l'orniérage sur un mélange bitumineux.

10. Conclusions

La recherche a mis en évidence l'effet du type de concassage sur la susceptibilité à l'orniérage d'un mélange bitumineux et par conséquent, de manière indirecte, de l'effet du mode de concassage sur l'état des arêtes.

Les concasseurs qui produisent peu d'éléments non cubiques sont en général ceux qui sont susceptibles de produire des granulats avec des arêtes émoussées. On évitera par conséquent d'utiliser, pour la production des mélanges bitumineux des granulats contenant une proportion d'éléments cubiques trop importante. L'excès comme le défaut de cubicité peuvent être nuisibles à la production d'un béton bitumineux de bonne qualité.

Lorsque l'on a dans une chaîne d'élaboration des granulats un concasseur susceptible de produire des arêtes émoussées, comme les concasseurs à sole tournante (autobroyant et à enclumes), les broyeurs à barres, les concasseurs giratoires etc., il est recommandé de vérifier si les granulats produits peuvent avoir un effet sur la susceptibilité à l'orniérage des mélanges bitumineux en réalisant un essai sur un mélange type.

A ce jour, le seul essai pertinent pour caractériser l'état des arêtes des granulats et la susceptibilité à l'orniérage de mélanges fabriqués avec ces granulats reste l'essai à l'orniéreur [réf. 4] sur échantillon d'enrobé.

Les méthodes indirectes ne permettent pas en l'état de déterminer la susceptibilité à l'orniérage. Si une tendance entre les résultats obtenus sur le granulat et la susceptibilité à l'orniérage des mélanges constitués avec les granulats de même sorte a été observée, les écarts mesurés [réf. 14] sont trop peu importants pour permettre de dresser des classes entre enrobés peu susceptibles et enrobés susceptibles à l'orniérage.

L'étude n'a pas mis en évidence d'effet significatif de la nature pétrographique des grains, ni de celle du filler sur la susceptibilité à l'orniérage d'un mélange bitumineux.

L'essai Marshall se révèle quant à lui inefficace pour caractériser l'état des arêtes des grains et prédire la susceptibilité à l'orniérage des enrobés.

11. Références

[1] Norme SN 670 130 *Sables, graviers, gravillons et pierres concassées pour revêtements. Prescriptions de qualité.* Publication VSS (Union des professionnels suisses de la route).

[2] Norme SN 671 969b *Essai Marshall.* Publication VSS (Union des professionnels suisses de la route).

[3] Norme NF P 98-252 *Détermination du comportement au compactage des mélanges hydrocarbonés. Essai de compactage à la presse à cisaillement giratoire (PCG).* Publication AFNOR (norme française)

[4] Norme NF P 98-253-1 *Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés. Partie 1 : essai d'orniérage.* Publication AFNOR (norme française)

[5] Norme NF P 98-260 *Mesure des caractéristiques rhéologiques des mélanges hydrocarbonés. Partie 2 : détermination du module complexe par flexion sinusoïdale.* Publication AFNOR (norme française)

[6] Norme NF P 98-261-1 *Détermination de la résistance en fatigue des mélanges hydrocarbonés. Partie 1 : essai de fatigue par flexion à amplitude de flèche constante.* Publication AFNOR (norme française)

[7] Norme NF P 98-561 *Mesure du coefficient d'aplatissement.* Publication AFNOR (norme française)

[8] Norme ASTM D 2664-86 *Triaxial test.* Publication ASTM (norme américaine)

[9] Norme NF P 98-564 *Détermination du coefficient d'écoulement des sables.* Publication AFNOR (norme française)

[10] Norme NF P 98-563 *Détermination du coefficient d'écoulement des gravillons.* Publication AFNOR (norme française)

[11] Norme SN 670 335 *Masse volumique du sol.* Publication VSS (Union des professionnels suisses de la route).

[12] Norme SN 670 816 *Sédimentométrie par la méthode de l'aréomètre.* Publication VSS (Union des professionnels suisses de la route).

[13] Norme SN 670 835 *Los Angeles.* Publication VSS (Union des professionnels suisses de la route).

[14] Jamil Bakhouy *Caractérisation des granulats utilisés dans les enrobés bitumineux du point de vue de leur géométrie (forme et rugosité).* Publication LAVOC

12. Bibliographie

[a] A.-G. Dumont, J. Beauverd, M. Huet, J.-C. Turtschy *Influence de la forme des granulats sur les caractéristiques d'un béton bitumineux.* Publication OFR N° 251, octobre 92

[b] A.-G. Dumont, J.-C. Turtschy, E Simond *Caractéristiques d'une formulation de référence pour les bétons bitumineux.* Publication OFR N° 396, février 98

[c] ERTEC SA, GEO-BAU LABOR, TECHNOTEST *Réalisation d'essais en voie de normalisation européenne sur un échantillonnage de granulats utilisés pour la fabrication de revêtements routiers.* Publication OFR, septembre 94

[d] A. Tolou *Détermination de la granulométrie du béton par analyse d'image.* Publication DMX/EPFL

[e] Georg Unland, Thomas Folgner *Détermination automatique de la forme des particules par analyse photo-optique*

[f] Camiel Heffels *On-line particle size and shape characterisation by narrow angle light scattering.* Publié par Delft University Press

[g] Michael Diepenbroek *The characterisation of grain shape using Fourier analysis.* Publication Alfred Wegener Institut.

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2022MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BU-K new, 50% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **27.02.97**

Date de l'essai : **10.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.351** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**4.9** %
Teneur en vides comblés HR *	**72.4** %
Stabilité SM *	**10.9** kN
Fluage FM *	**2.6** mm
SM/FM *	**4.2** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piur

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2018MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new AR-K, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

Date de l'essai : **02.09.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.333** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**5.7** %
Teneur en vides comblés HR *	**69.3** %
Stabilité SM *	**9.7** kN
Fluage FM *	**2.7** mm
SM/FM *	**3.6** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piaus

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2023MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BA-G new, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **14.02.97**

Date de l'essai : **13.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.406** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**2.7** %
Teneur en vides comblés HR *	**83.0** %
Stabilité SM *	**10.9** kN
Fluage FM *	**2.7** mm
SM/FM *	**4.1** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Mr. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2021MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BU-G new, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **15.04.97**

Date de l'essai : **07.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.392** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**3.3** %
Teneur en vides comblés HR *	**80.0** %
Stabilité SM *	**10.8** kN
Fluage FM *	**2.5** mm
SM/FM *	**4.4** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2019MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new AR-G, 50% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

Date de l'essai : **02.09.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.353** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**4.8** %
Teneur en vides comblés HR *	**72.8** %
Stabilité SM *	**9.8** kN
Fluage FM *	**2.8** mm
SM/FM *	**3.5** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2016MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new BA-B, 50% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

Date de l'essai : **28.08.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.398** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**3.0** %
Teneur en vides comblés HR *	**81.2** %
Stabilité SM *	**10.5** kN
Fluage FM *	**3.2** mm
SM/FM *	**3.3** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piles

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2017MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new BU-B, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

Date de l'essai : **28.08.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.410** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**2.6** %
Teneur en vides comblés HR *	**83.8** %
Stabilité SM *	**11.5** kN
Fluage FM *	**2.8** mm
SM/FM *	**4.1** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Partes

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2015MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new AR-B, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

Date de l'essai : **28.08.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.389** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**3.4** %
Teneur en vides comblés HR *	**79.5** %
Stabilité SM *	**10.1** kN
Fluage FM *	**2.8** mm
SM/FM *	**3.6** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

IV. Résultats des essais de laboratoire

a) Essai Marshall

et en intégrant, le coefficient de perméabilité de Darcy est alors donné par :

$$k = \frac{h}{t} * \ln \frac{H_1}{H_2}$$

La valeur moyenne de k est calculée en prenant la moyenne des logarithmes des k_i.

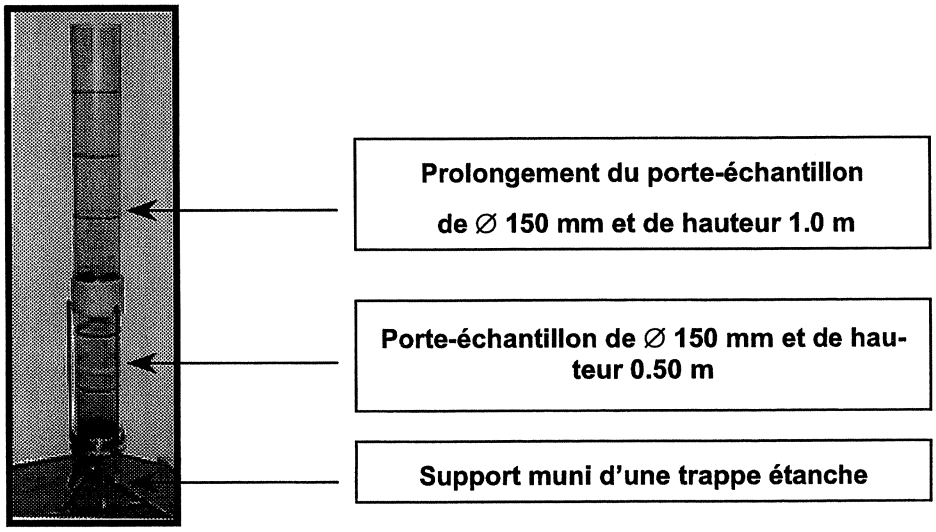
Il faut noter que dans cet essai la colonne d'eau crée une forte pression au niveau supérieur de l'échantillon. Les efforts de frottement de l'eau sur les grains à travers l'échantillon sont grands et tendent à comprimer l'échantillon et à diminuer la perméabilité. Cet effet est d'autant plus grand que la colonne d'eau est plus grande. Il y a donc une influence de la charge sur la valeur du coefficient de perméabilité. Il faut par conséquent trouver un compromis entre ΔH et H. Dans cette étude, ΔH est égale à 800 mm et H à 1215 mm.

III. Essai de perméabilité au perméamètre à charge variable

Essai modifié par le LAVOC

L'échantillon de granulats et placé dans un appareil cylindrique qui se compose de trois parties indépendantes :

- le support de la tour munie d'un clapet étanche de diamètre 100 mm.
- la " porte-échantillon ", de diamètre 150 mm, fermé à sa base par une grille avec des trous de 5 mm de diamètre. On disposera sur cette base des grilles plus fines en fonction de la granulométrie de l'échantillon.
- le prolongement du porte-échantillon, de diamètre 150 mm, qui permet de charger le système au-delà de la hauteur d'eau voulue.



Conditions de l'essai :

- placer les granulats dans le porte-échantillon puis les vibrer pendant 10 secondes.
- noter la hauteur h de l'échantillon et son poids. h doit être supérieur à 200 mm.
- placer la porte-échantillon sur le support puis mettre en place le prolongement.
- laisser l'échantillon se gorger d'eau puis mettre en charge l'ensemble plus haut que la hauteur H_1 d'eau désirée.
- ouvrir le clapet, laisser le niveau d'eau baissé jusqu'à la hauteur H_1 puis chronométrer le temps d'écoulement de l'eau de H_1 à H_2 ($H_2 < H_1$). Le niveau de H_2 doit être plus haut que le toit de l'échantillon. H_2 est la hauteur d'eau qui est atteinte après avoir arrêter le chronomètre. $H_1 - H_2$ (ΔH) doit être suffisamment grand pour que l'essai soit significatif.
- Répéter 5 fois l'essai avec la même prise d'essai.

Le temps t est celui que met le niveau d'eau pour descendre de la côte H_1 à la côte H_2

On a :

$$\frac{\partial H * S}{\partial t} = \frac{H}{h} * S * k = Q$$

COMPARATIF CUBICITE NOMBRE ET POIDS

(Sur fractions livrées - Majorité de grains non cubiques)

MATERIAUX ARVEL

	AR-G		AR-B		AR-K	
Fractions	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids
8 / 11.2	-	-	-	-	14	12
5.6 / 8	11	9	-	-	4	3
4 / 5.6	-	-	4	3	5	4
2.8 / 4	11	9	4	3	-	-
2 / 2.8	8	7	-	-	-	-
1.4 / 2	16	15	10	9	-	-

MATERIAUX BUCHS

	BU-G		BU-B		BU-K	
Fractions	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids
8 / 11.2	-	-	7	6	14	12
5.6 / 8	-	-	-	-	4	3
4 / 5.6	-	-	4	3	4	3
2.8 / 4	8	6	3	2	9	6
2 / 2.8	-	-	-	-	3	3
1.4 / 2	-	-	-	-	-	-

MATERIAUX BALMHOLZ

	BA-G		BA-B		BA-K	
Fractions	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids
8 / 11.2	-	-	5	5	8	7
5.6 / 8	-	-	4	4	-	-
4 / 5.6	-	-	3	2	-	-
2.8 / 4	-	-	7	5	-	-
2 / 2.8	-	-	4	3	-	-
1.4 / 2	-	-	12	10	-	-

REMARQUE: Pour les fractions testées, le % poids est toujours inférieur ou égal au % r

II. Cubicité des granulats : comparaison des valeurs exprimées en % nombre à celles exprimées en % poids

COMPARATIF CUBICITE NOMBRE ET POIDS

(Sur fractions livrées - Majorité de grains cubiques)

MATERIAUX ARVEL

	AR-G		AR-B		AR-K	
Fraction	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids
8 / 11.2	-	-	-	-	77	77
5.6 / 8	64	66	70	73	73	73
4 / 5.6	50	51	77	76	73	73
2.8 / 4	70	72	74	72	70	69
2 / 2.8	58	60	70	73	70	67
1.4 / 2	78	79	73	72	70	70

MATERIAUX BUCHS

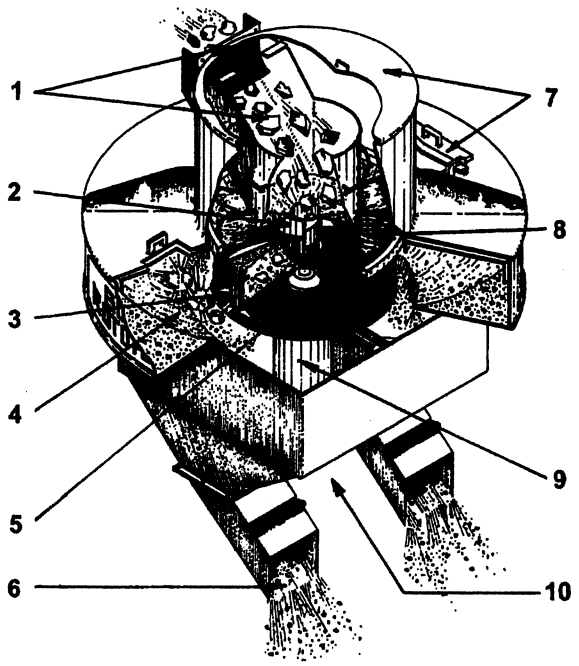
	BU-G		BU-B		BU-K	
Fraction	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids
8 / 11.2	70	67	75	77	70	71
5.6 / 8	70	67	70	69	62	63
4 / 5.6	70	67	73	73	65	66
2.8 / 4	73	70	73	71	57	59
2 / 2.8	70	65	70	69	61	63
1.4 / 2	70	67	70	70	50	49

MATERIAUX BALMHOLZ

	BA-G		BA-B		BA-K	
Fraction	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids	% Nombre	% Poids
8 / 11.2	70	68	66	68	83	81
5.6 / 8	70	68	63	66	70	68
4 / 5.6	70	68	54	57	70	70
2.8 / 4	70	67	58	59	70	67
2 / 2.8	70	67	63	63	70	67
1.4 / 2	70	67	65	66	70	65

% Poids < % Nombre

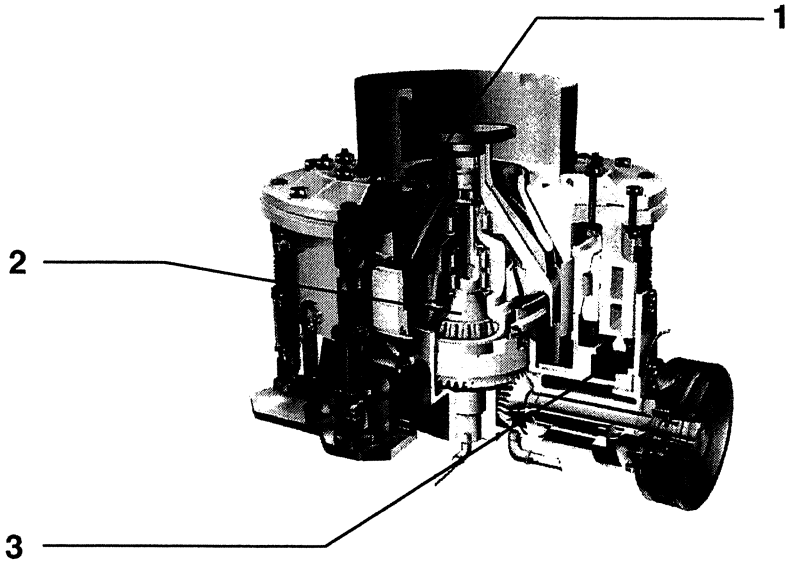
c) à sole tournante autobroyant



Légende:

1 Entrée centrale
2 Distributeur central
3 Bords d'usure
4 Chambre de concassage
5 Rotor avec revêtement dur
6 Sorties hermétiques
7 Orifices d'inspection
8 Etanchéité de la chambre de concassage
9 Boîte de paliers
10 Accès aux organes d'entraînement

d) à sole tournante à enclumes



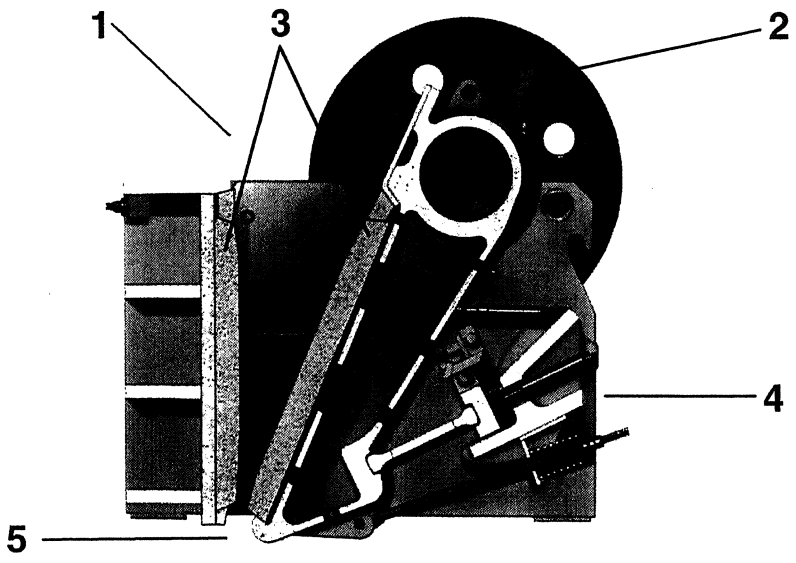
Légende:

1 entrée centrale des matériaux
2 rotor avec revêtement dur
3 sortie hermétique avec revêtement anti-usure et retenue des poussières

(source: PEGSON LIMITED Leicestershire England)

I. Concasseurs

a) à mâchoires

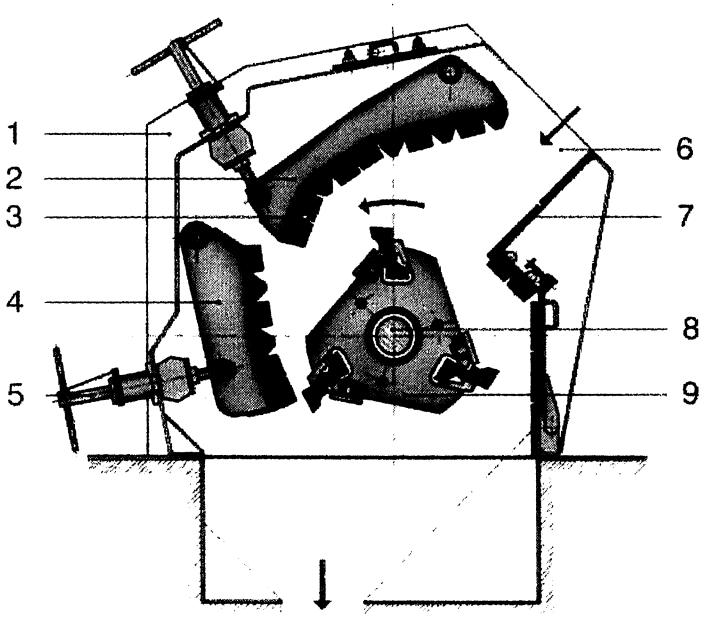


Légende:

1 entrée des matériaux
2 excentrique
3 mâchoires
4 système de réglage
5 sortie des granulats

(source: PEGSON LIMITED Leicestershire England)

b) à percussion



Légende:

1 bâti
2 chambre de percussion
3 barres d'impact
4 support pivotant
5 dispositif de réglage
6 ouverture d'alimentation
7 plaques d'usure
8 arbre
9 rotor avec marteau

(source: AMMANN 4900 Langenthal)

13. Annexes

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2020MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BA-K new, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **26.08.97**

Date de l'essai : **07.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.349** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**5.0** %
Teneur en vides comblés HR *	**72.0** %
Stabilité SM *	**9.5** kN
Fluage FM *	**2.8** mm
SM/FM *	**3.4** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piteet

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2024MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 55/70 Cressier, formule BU-B new, 70% cubiques, filler 8.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **12.01.98**

Date de l'essai : **13.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.46** %
Teneur en liant sur granulats :	**5.78** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.480** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.410** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**2.8** %
Teneur en vides comblés HR *	**81.8** %
Stabilité SM *	**13.7** kN
Fluage FM *	**3.0** mm
SM/FM *	**4.7** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2027MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule AR-K new, 70% cubiques, filler Eclépens 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **30.01.98**

Date de l'essai : **06.02.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.377** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**3.9** %
Teneur en vides comblés HR *	**77.2** %
Stabilité SM *	**11.0** kN
Fluage FM *	**2.8** mm
SM/FM *	**3.9** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2025MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BA-B new, 50% cubiques, filler Eclépens 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **16.01.98**

Date de l'essai : **26.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.414** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**2.4** %
Teneur en vides comblés HR *	**84.7** %
Stabilité SM *	**10.5** kN
Fluage FM *	**3.7** mm
SM/FM *	**2.8** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piles

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

SWISS TESTING
STS 080

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai Marshall

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2026MAR**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BU-G new, 70% cubiques, filler Eclépens 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **23.01.98**

Date de l'essai : **29.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: SN 671 967a, SN 671 969b et B-01, B-03 du LAVOC

Caractéristiques générale de l'enrobé

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %
MVR du liant (estimée) :	**1.03** g/cm^3
MVR du granulat (estimée) :	**2.700** g/cm^3
MVR de l'enrobé (mesurée) :	**2.473** g/cm^3
Nombre de coups de dame :	**50 / 50**

Caractéristiques Marshall

Masse volumique apparente *	**2.428** g/cm^3
Teneur en vides HM *	**1.8** %
Teneur en vides comblés HR *	**88.0** %
Stabilité SM *	**11.4** kN
Fluage FM *	**3.5** mm
SM/FM *	**3.3** kN/mm

* Moyenne de 4 éprouvettes

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piles

b) Essai PCG (presse à cisaillement giratoire)

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2014PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new AR-B, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

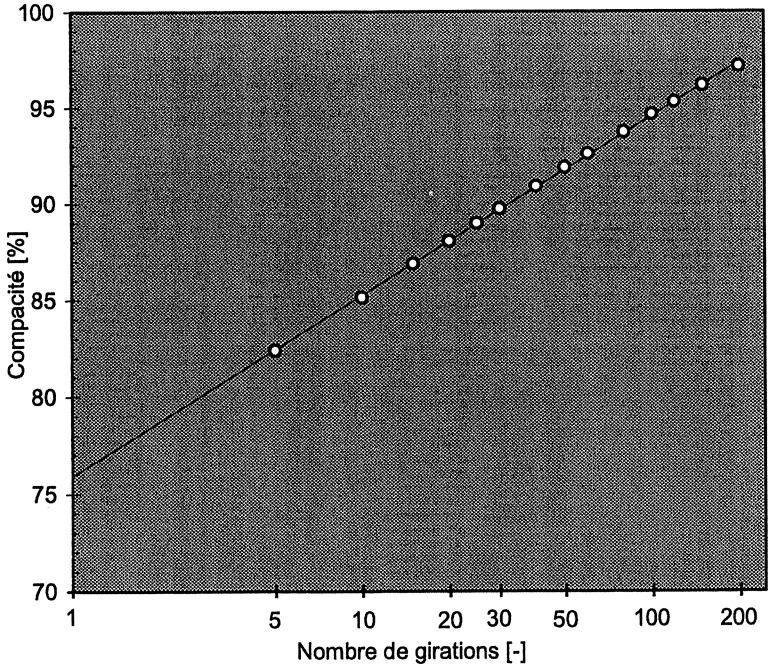
Date de l'essai : **27.08.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66 %** (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00 %** (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**82.4**
10	**85.1**
15	**86.9**
20	**88.0**
25	**89.0**
30	**89.7**
40	**90.9**
50	**91.9**
60	**92.6**
80	**93.7**
100	**94.6**
120	**95.3**
150	**96.1**
200	**97.1**



Compacité à 1 giration : **75.9 %**
Compacité à 200 girations : **97.1 %**
Pente de la droite de régression : **4.05**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Ms. Vitas

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2015PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new BU-B, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

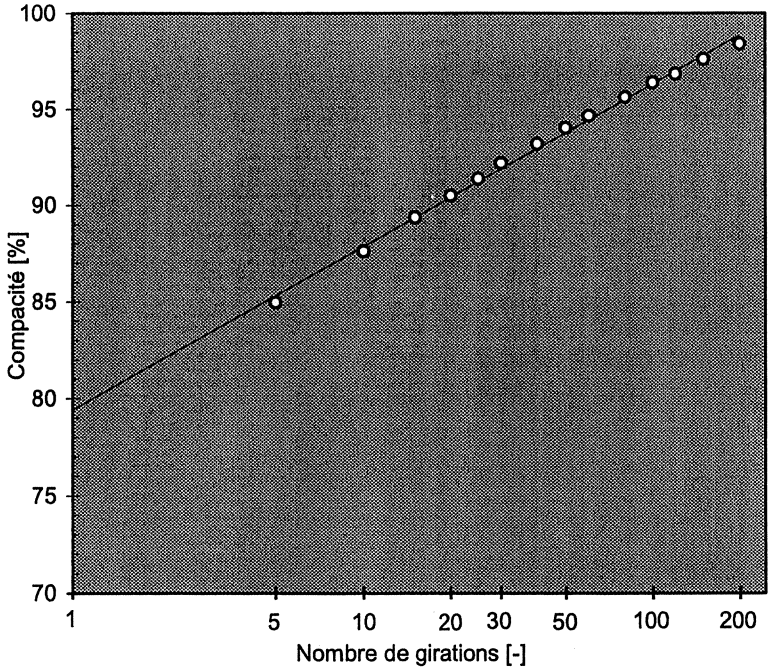
Date de l'essai : **28.08.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66 %** (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00 %** (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**84.9**
10	**87.6**
15	**89.3**
20	**90.5**
25	**91.4**
30	**92.2**
40	**93.2**
50	**94.0**
60	**94.6**
80	**95.6**
100	**96.4**
120	**96.8**
150	**97.6**
200	**98.4**



Compacité à 1 giration : **79.4 %**
Compacité à 200 girations : **98.4 %**
Pente de la droite de régression : **3.67**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Ms. Pitter

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2016PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new BA-B, 50% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

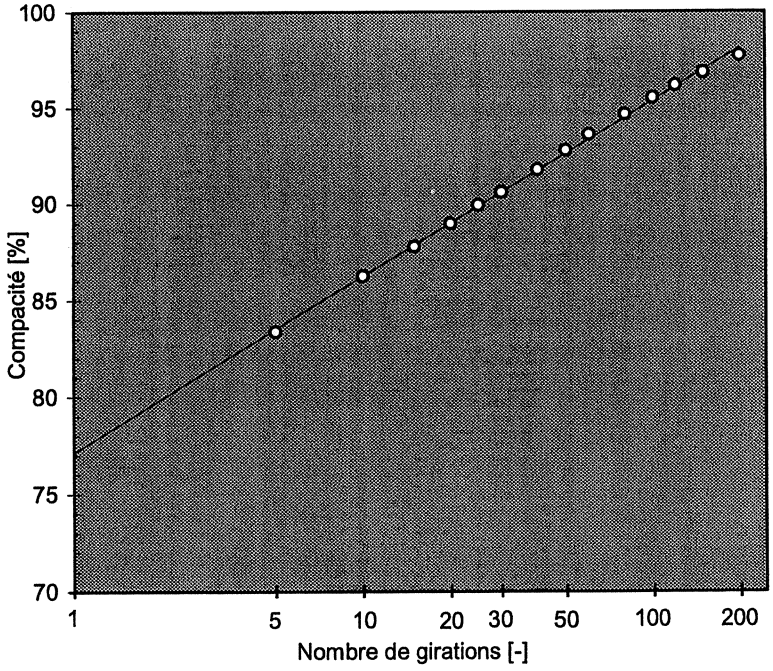
Date de l'essai : **28.08.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66** % (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00** % (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**83.4**
10	**86.2**
15	**87.8**
20	**89.0**
25	**89.9**
30	**90.6**
40	**91.8**
50	**92.8**
60	**93.6**
80	**94.6**
100	**95.5**
120	**96.1**
150	**96.8**
200	**97.7**



Compacité à 1 giration : **77.1** %
Compacité à 200 girations : **97.7** %
Pente de la droite de régression : **3.96**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Pittet

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2018PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new AR-G, 50% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

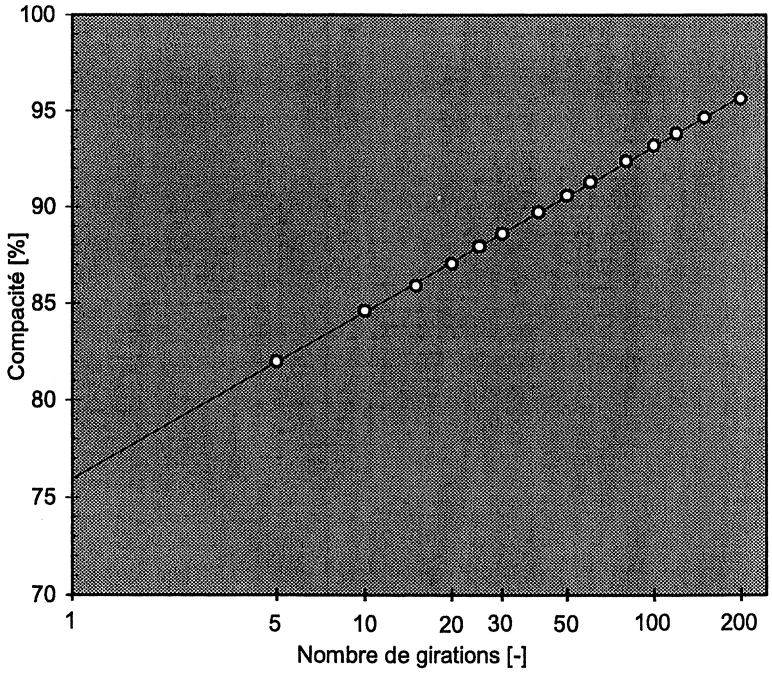
Date de l'essai : **02.09.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66** % (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00** % (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**82.0**
10	**84.6**
15	**85.9**
20	**87.0**
25	**87.9**
30	**88.6**
40	**89.7**
50	**90.6**
60	**91.3**
80	**92.4**
100	**93.2**
120	**93.8**
150	**94.6**
200	**95.6**



Compacité à 1 giration : **75.9** %
Compacité à 200 girations : **95.6** %
Pente de la droite de régression : **3.73**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2020PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BU-G new, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **15.04.97**

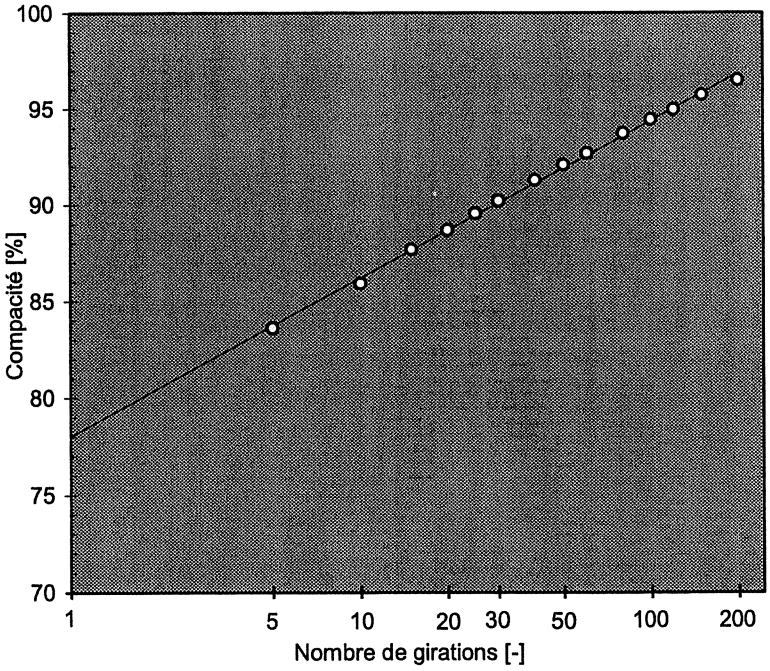
Date de l'essai : **07.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66 %** (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00 %** (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**83.6**
10	**85.9**
15	**87.7**
20	**88.7**
25	**89.5**
30	**90.2**
40	**91.3**
50	**92.1**
60	**92.7**
80	**93.7**
100	**94.4**
120	**95.0**
150	**95.7**
200	**96.5**



Compacité à 1 giration : **78.0 %**
Compacité à 200 girations : **96.5 %**
Pente de la droite de régression : **3.55**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piteet

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2022PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BA-G new, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **04.04.97**

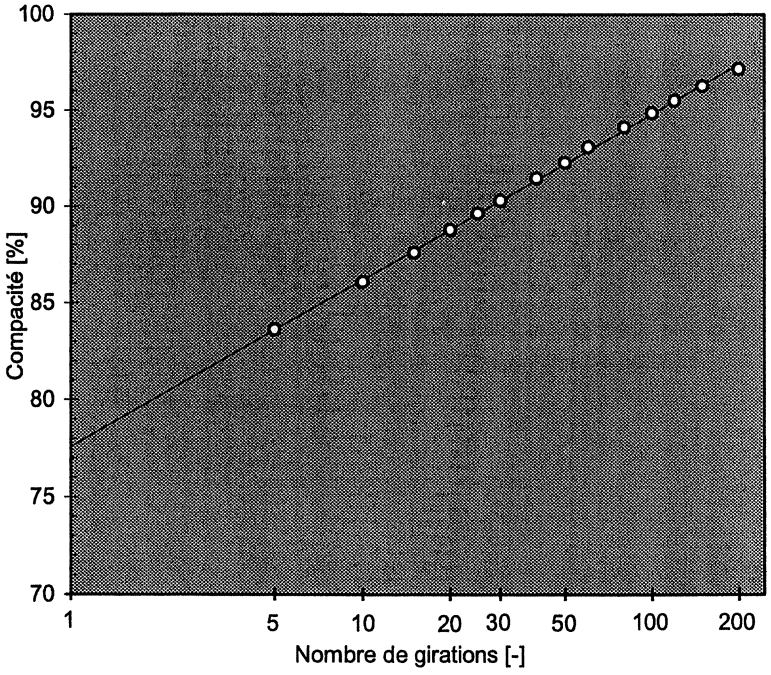
Date de l'essai : **13.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66** % (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00** % (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**83.6**
10	**86.1**
15	**87.6**
20	**88.8**
25	**89.6**
30	**90.3**
40	**91.5**
50	**92.3**
60	**93.1**
80	**94.1**
100	**94.9**
120	**95.5**
150	**96.3**
200	**97.1**



Compacité à 1 giration : **77.6** %
Compacité à 200 girations : **97.1** %
Pente de la droite de régression : **3.74**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Partl

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2017PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule new AR-K, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.04.97**

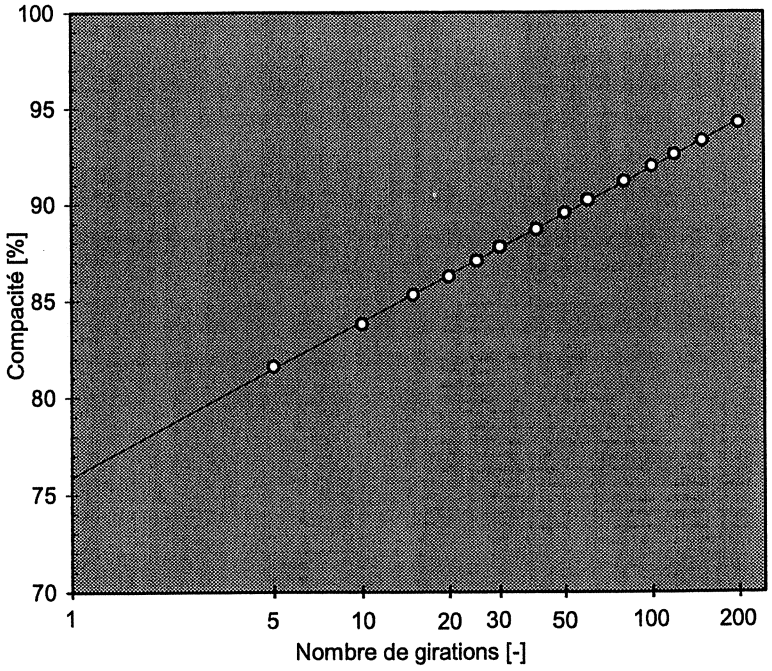
Date de l'essai : **02.09.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66 %** (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00 %** (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**81.6**
10	**83.8**
15	**85.3**
20	**86.2**
25	**87.0**
30	**87.8**
40	**88.7**
50	**89.5**
60	**90.2**
80	**91.2**
100	**92.0**
120	**92.6**
150	**93.3**
200	**94.2**



Compacité à 1 giration : **75.9 %**
Compacité à 200 girations : **94.2 %**
Pente de la droite de régression : **3.48**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2021PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BU-K new, 50% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **27.02.97**

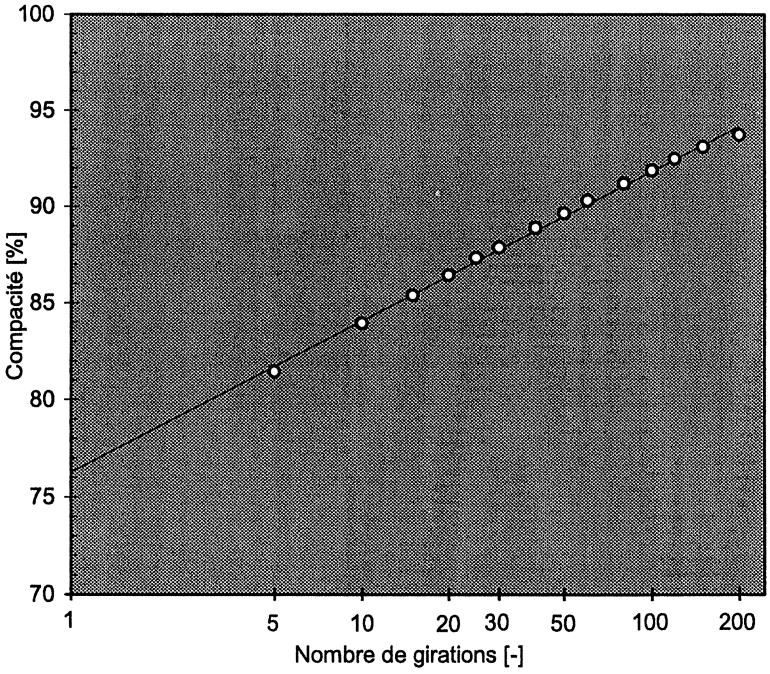
Date de l'essai : **09.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66** % (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00** % (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**81.4**
10	**83.9**
15	**85.4**
20	**86.4**
25	**87.3**
30	**87.9**
40	**88.9**
50	**89.6**
60	**90.3**
80	**91.2**
100	**91.9**
120	**92.5**
150	**93.1**
200	**93.7**



Compacité à 1 giration : **76.3** %
Compacité à 200 girations : **93.7** %
Pente de la droite de régression : **3.38**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piaur

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2019PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BA-K new, 70% cubiques, filler 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **26.08.97**

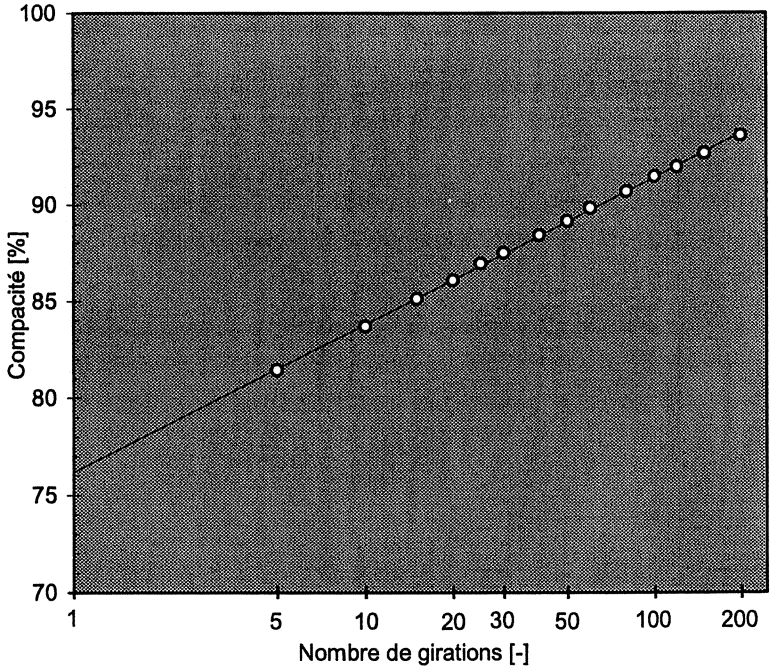
Date de l'essai : **07.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66 %** (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00 %** (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**81.4**
10	**83.7**
15	**85.1**
20	**86.1**
25	**87.0**
30	**87.5**
40	**88.4**
50	**89.2**
60	**89.8**
80	**90.7**
100	**91.5**
120	**92.0**
150	**92.7**
200	**93.6**



Compacité à 1 giration : **76.2 %**
Compacité à 200 girations : **93.6 %**
Pente de la droite de régression : **3.31**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2023PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 55/70 Cressier, formule BU-B new, 70% cubiques, filler 8.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **12.01.98**

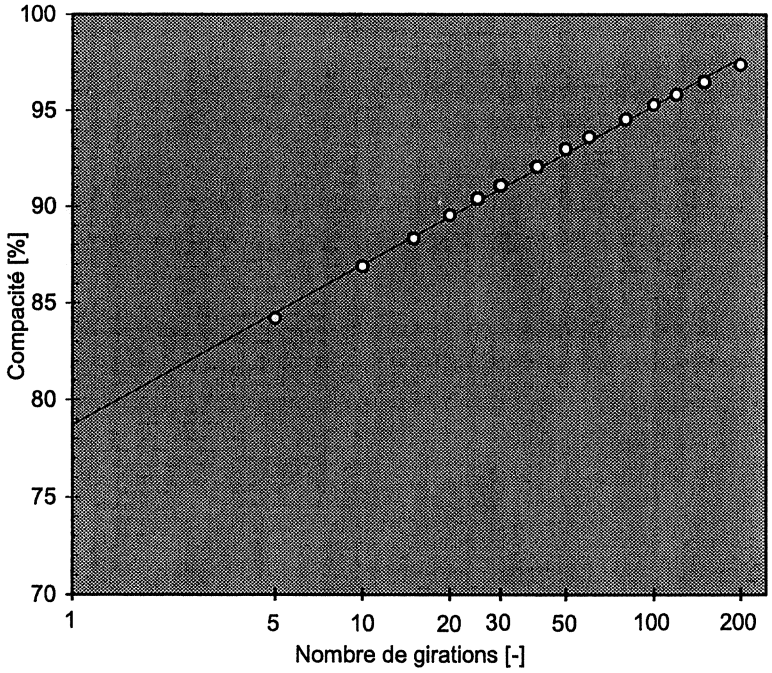
Date de l'essai : **13.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.46 %** (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **5.78 %** (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**84.2**
10	**86.9**
15	**88.3**
20	**89.5**
25	**90.4**
30	**91.1**
40	**92.1**
50	**93.0**
60	**93.6**
80	**94.5**
100	**95.3**
120	**95.8**
150	**96.5**
200	**97.4**



Compacité à 1 giration : **78.7 %**
Compacité à 200 girations : **97.4 %**
Pente de la droite de régression : **3.59**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2025PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule AR-K new, 70% cubiques, filler Eclépens 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **30.01.98**

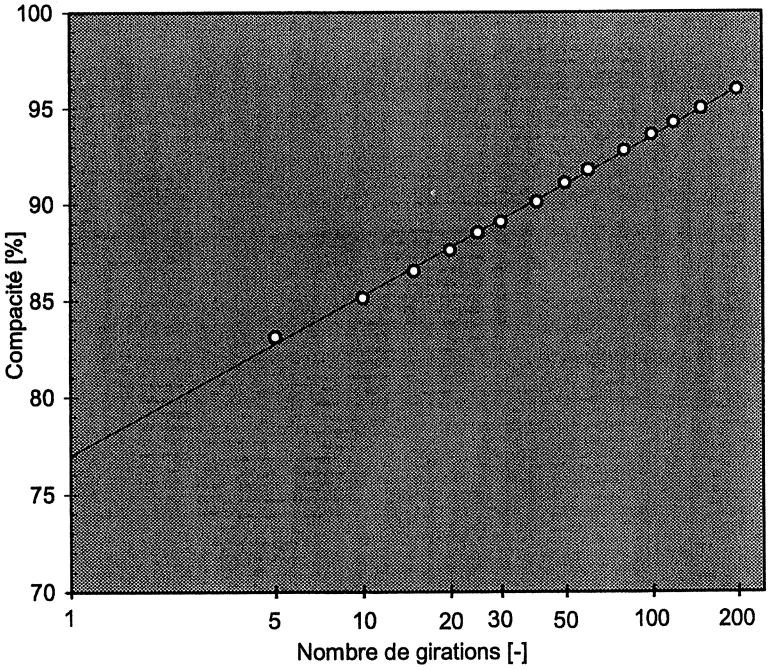
Date de l'essai : **05.02.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66** % (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00** % (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**83.1**
10	**85.1**
15	**86.5**
20	**87.6**
25	**88.5**
30	**89.1**
40	**90.1**
50	**91.1**
60	**91.8**
80	**92.8**
100	**93.6**
120	**94.2**
150	**95.0**
200	**95.9**



Compacité à 1 giration : **77.0** %
Compacité à 200 girations : **95.9** %
Pente de la droite de régression : **3.58**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piles

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2024PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BA-B new, 50% cubiques, filler Eclépens 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **16.01.98**

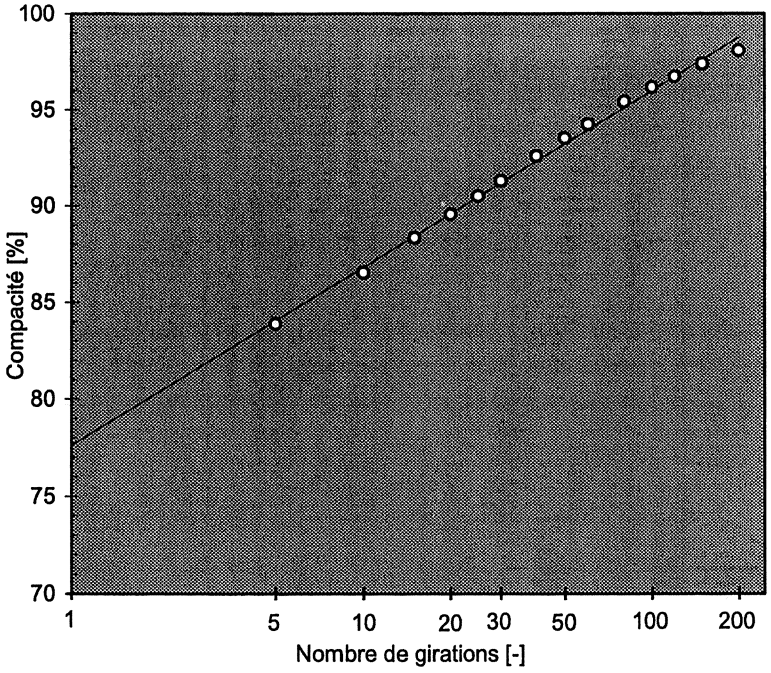
Date de l'essai : **26.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66** % (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00** % (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**83.9**
10	**86.5**
15	**88.3**
20	**89.5**
25	**90.5**
30	**91.3**
40	**92.6**
50	**93.5**
60	**94.2**
80	**95.4**
100	**96.1**
120	**96.7**
150	**97.4**
200	**98.0**



Compacité à 1 giration : **77.6** %
Compacité à 200 girations : **98.0** %
Pente de la droite de régression : **3.98**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Pittet

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2026PCG**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BU-G new, 70% cubiques, filler Eclépens 7.5%**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **30.01.98**

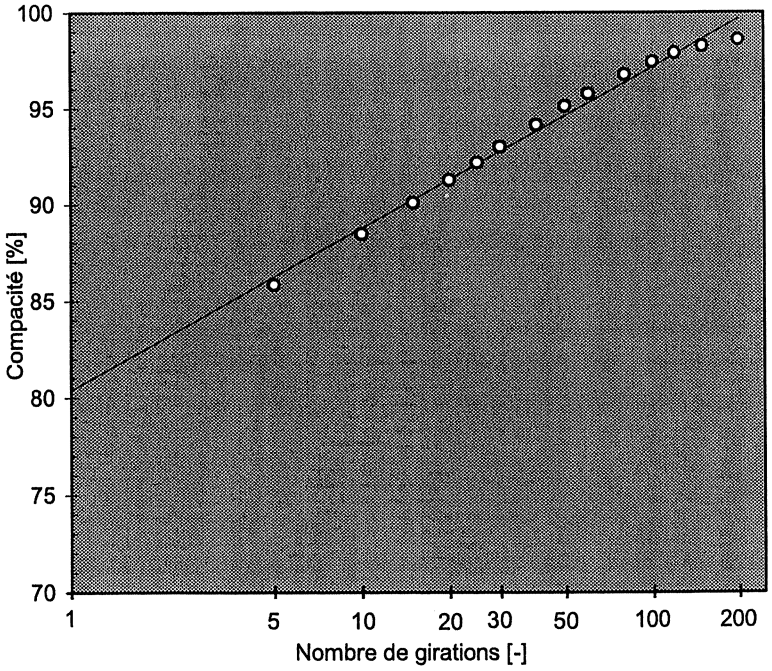
Date de l'essai : **05.02.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-252

Teneur en liant sur enrobé : **5.66 %** (mesurée)
Teneur en liant sur granulats : **6.00 %** (calculée)

Nbre de girations [-]	Compacité moyenne * [% volume]
5	**85.8**
10	**88.5**
15	**90.1**
20	**91.3**
25	**92.2**
30	**93.0**
40	**94.1**
50	**95.1**
60	**95.8**
80	**96.7**
100	**97.4**
120	**97.9**
150	**98.2**
200	**98.6**



Compacité à 1 giration : **80.4 %**
Compacité à 200 girations : **98.6 %**
Pente de la droite de régression : **3.64**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piles

c) Essai à l'orniéreur LCPC

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME 2019STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME 2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule AR-B new, 70% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

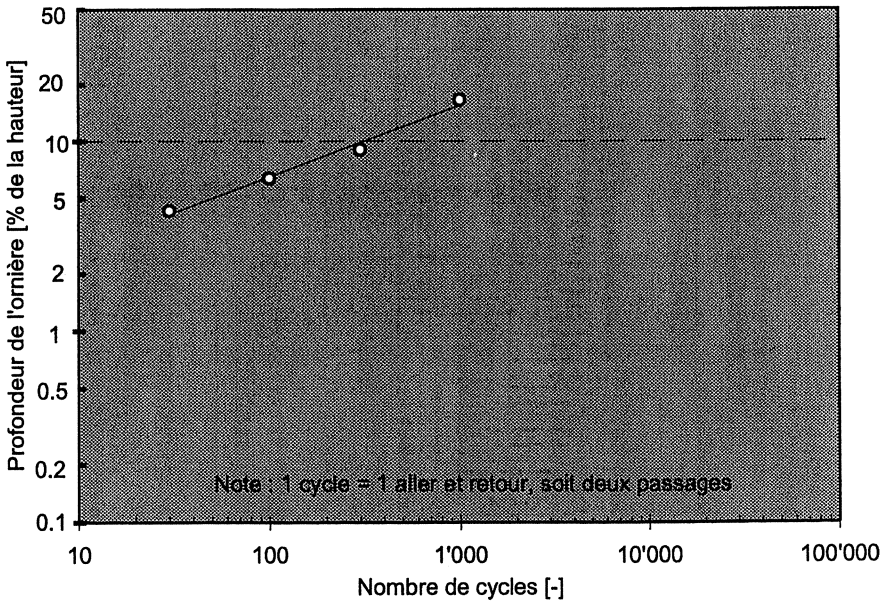
Date de l'essai : **23.09.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**2.8** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**100.6** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**4.1**
100	**6.5**
300	**9.8**
1'000	**15.5**



Pente : **0.378**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **37.0** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **-** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2020STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME 2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S,B 80/100 Cressier, formule AR-B new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux 2ème étape**

Date de réception :

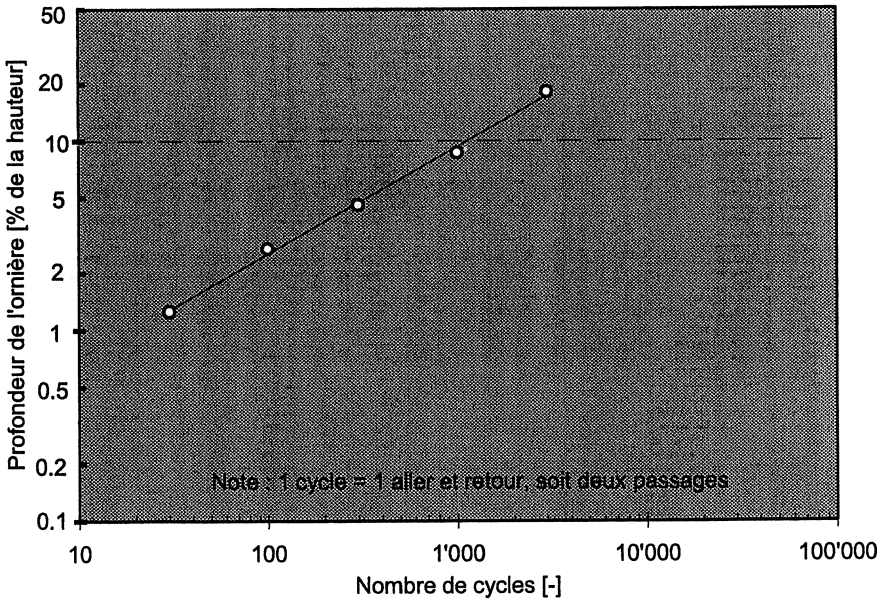
Date de l'essai : **23.09.97** Opérateur : **GO**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**6.2** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**97.1** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.3**
100	**2.5**
300	**4.7**
1'000	**9.3**
3'000	**17.2**



Pente : **0.565**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **34.0** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **-** %
Coefficient de corrélation : **1.00**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piaur

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 19/94** Code LAVOC : **OFFORME 2015STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME 2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BU-B new, 70% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

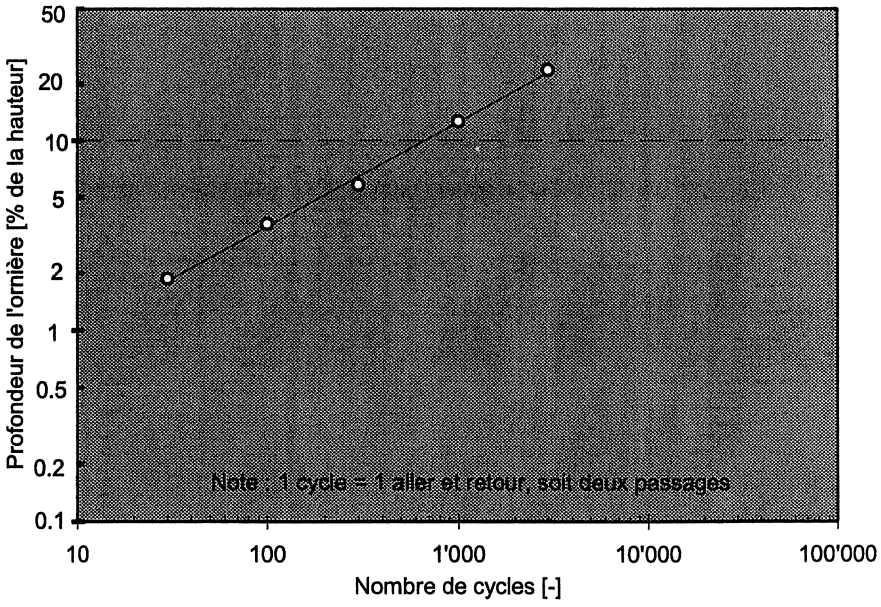
Date de l'essai : **13.09.97** Opérateur : **J-W. FILS - AIME**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

			Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur enrobé :	**5.66**	% (mesurée)	Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en liant sur granulats :	**6.00**	%	Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Teneur en vides moyenne :	**2.3**	%	Charge par roue :	**5'000**	N
Degré de compacité Marshall :	**100.2**	%	Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.8**
100	**3.5**
300	**6.5**
1'000	**12.5**
3'000	**22.9**



Pente : **0.550**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **44.4** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **-** %
Coefficient de corrélation : **1.00**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME 2 018STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME 2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BU-B new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

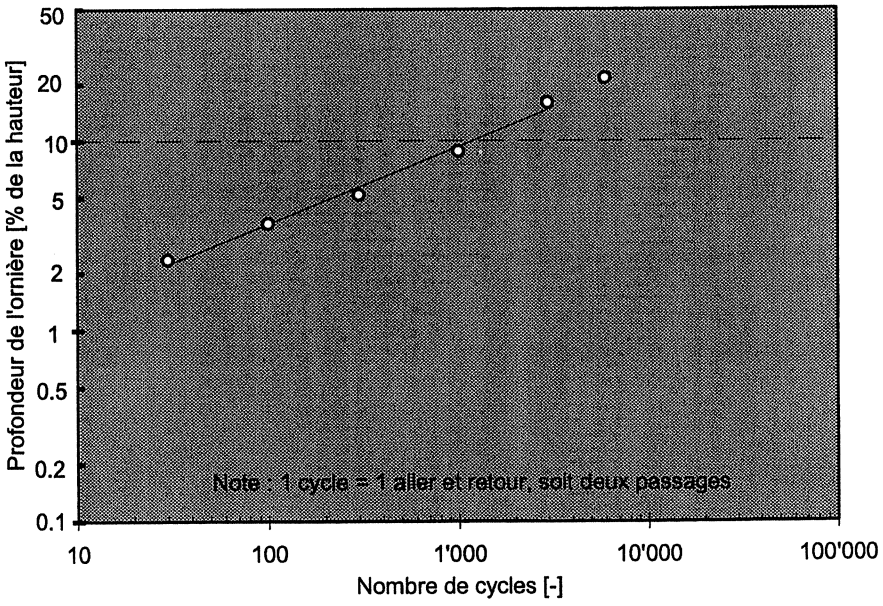
Date de l'essai : **16.09.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**5.0** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**97.5** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.2**
100	**3.6**
300	**5.7**
1'000	**9.3**
3'000	**14.6**



Pente : **0.409**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **23.9** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **-** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Ch. Pittet

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME 2 016STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME 2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BA-B new, 50% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

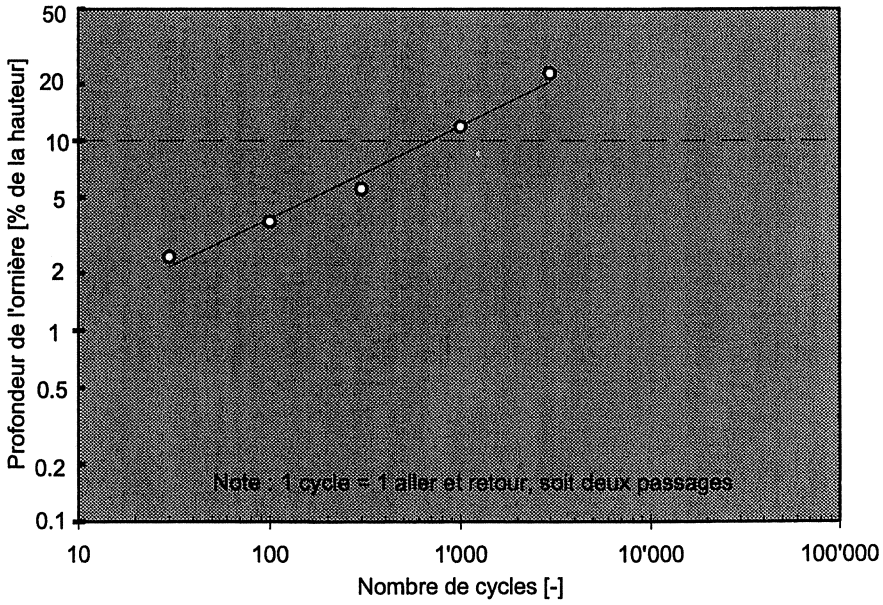
Date de l'essai : **13.09.97** Opérateur : **J-W. FILS - AIME**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

			Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur enrobé :	**5.66**	% (mesurée)	Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en liant sur granulats :	**6.00**	%	Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Teneur en vides moyenne :	**3.6**	%	Charge par roue :	**5'000**	N
Degré de compacité Marshall :	**99.4**	%	Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.2**
100	**3.9**
300	**6.6**
1'000	**12.0**
3'000	**20.4**



Pente : **0.488**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **36.8** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **-** %
Coefficient de corrélation : **0.98**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Mr. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME 2 017STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME 2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11S, B 80/100 Cressier, formule BA-B new 50% cubiques, compactage faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

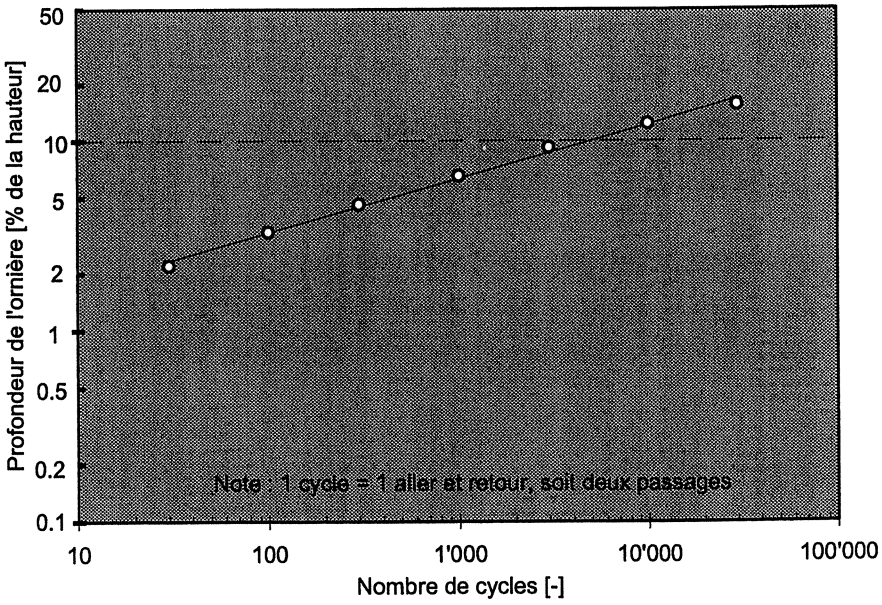
Date de l'essai : **16.09.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

			Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur enrobé :	**5.66**	% (mesurée)	Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en liant sur granulats :	**6.00**	%	Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Teneur en vides moyenne :	**6.9**	%	Charge par roue :	**5'000**	N
Degré de compacité Marshall :	**96.0**	%	Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.3**
100	**3.3**
300	**4.5**
1'000	**6.3**
3'000	**8.7**
10'000	**12.2**
30'000	**16.7**



Pente : **0.286**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **12.2** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **16.7** %
Coefficient de corrélation : **1.00**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2021STL**

N° d'échantillon LAVOC : N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S,B 80/100 Cressier, formule AR-G new, 50% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

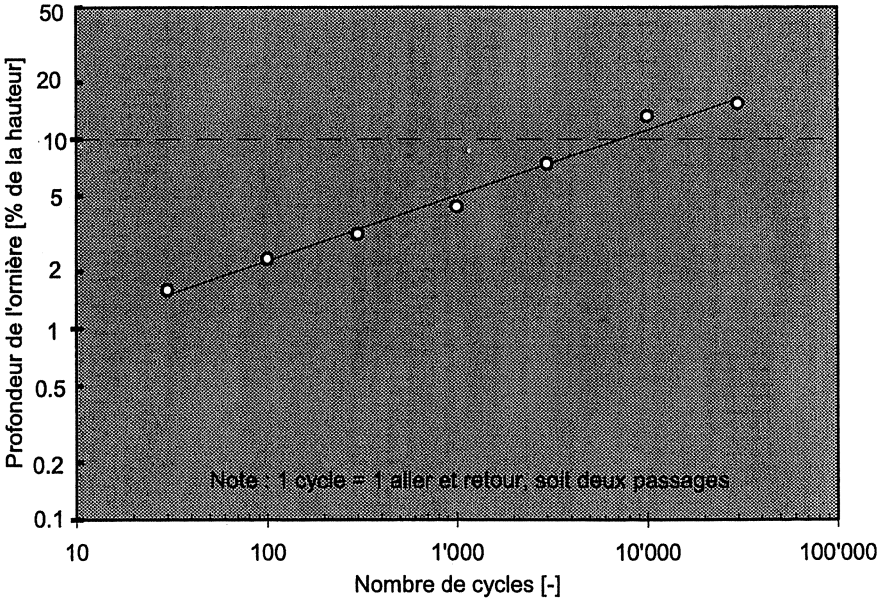
Date de l'essai : **26.09.97** Opérateur : **GO**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

			Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur enrobé :	**5.66**	% (mesurée)	Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en liant sur granulats :	**6.00**	%	Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Teneur en vides moyenne :	**5.1**	%	Charge par roue :	**5'000**	N
Degré de compacité Marshall :	**99.8**	%	Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.5**
100	**2.3**
300	**3.3**
1'000	**5.0**
3'000	**7.4**
10'000	**11.2**
30'000	**16.3**



Pente : **0.345**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **11.2** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **16.3** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Mr. Pittet

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2030STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S,B 80/100 Cressier, formule AR-G new, 50% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **15.01.97**

Date de l'essai : **30.10.97** Opérateur : **GO**

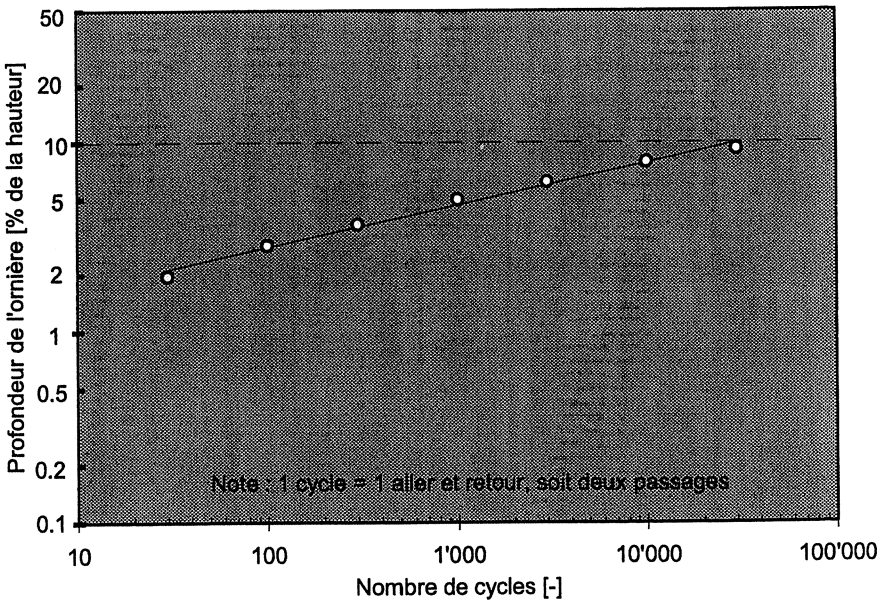
Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %	
Teneur en vides moyenne :	**8.8** %	
Degré de compacité Marshall :	**95.8** %	

Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Température d'essai :	**60**	°C
Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Charge par roue :	**5'000**	N
Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.1**
100	**2.8**
300	**3.6**
1'000	**4.6**
3'000	**5.9**
10'000	**7.8**
30'000	**9.9**



Pente : **0.222**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **7.8** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **9.9** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Mr. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2024STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S,B 80/100 Cressier, formule BU-G new, 70 % cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

Date de l'essai : **01.10.97** Opérateur : **G.O**

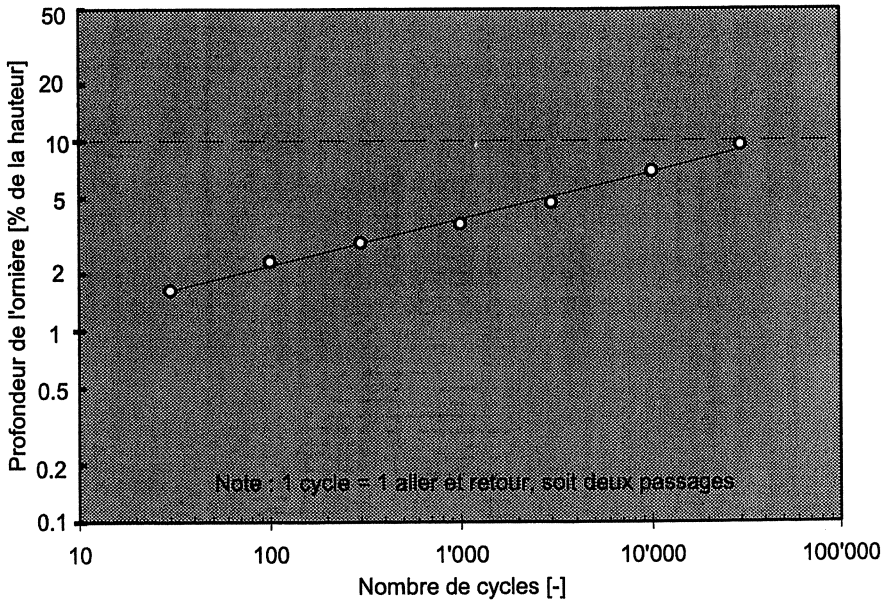
Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %	
Teneur en vides moyenne :	**4.4** %	
Degré de compacité Marshall :	**98.8** %	

Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Température d'essai :	**60**	°C
Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Charge par roue :	**5'000**	N
Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.6**
100	**2.2**
300	**2.9**
1'000	**3.9**
3'000	**5.1**
10'000	**6.8**
30'000	**8.9**



Pente : **0.246**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **6.8** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **8.9** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N°10/94** Code LAVOC : **OFFORME2025STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BU-G new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

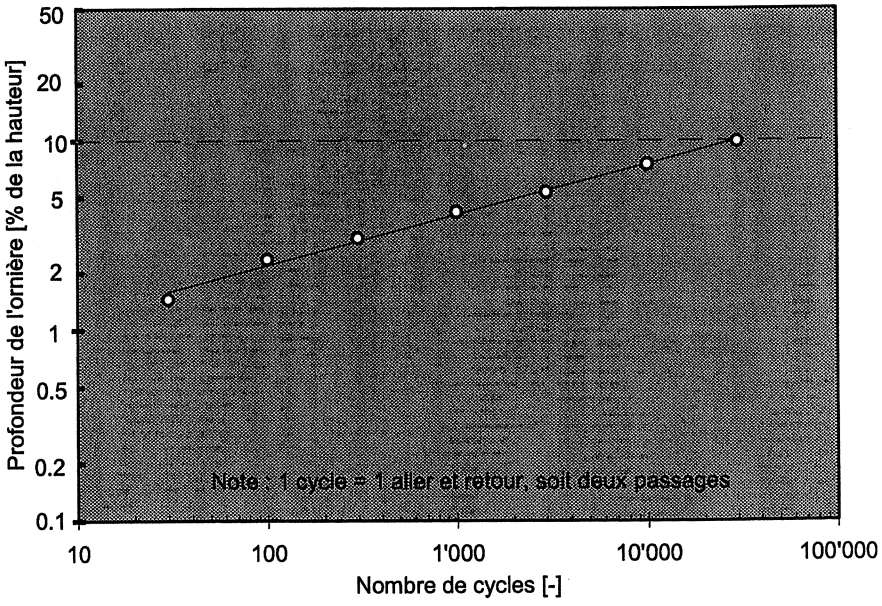
Date de l'essai : **06.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**6.6** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**96.6** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.6**
100	**2.2**
300	**2.9**
1'000	**4.0**
3'000	**5.4**
10'000	**7.5**
30'000	**10.0**



Pente : **0.267**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **7.5** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **10.0** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N°10/94** Code LAVOC : **OFFORME2032STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BA-G new, 70% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **24.10.97**

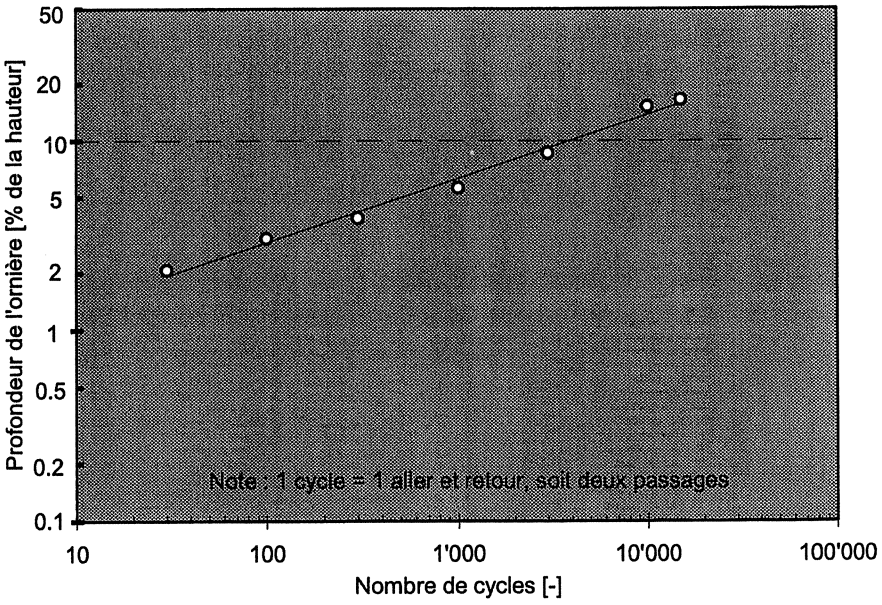
Date de l'essai : **05.11.97** Opérateur : **GO**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

			Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur enrobé :	**5.66**	% (mesurée)	Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en liant sur granulats :	**6.00**	%	Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Teneur en vides moyenne :	**3.9**	%	Charge par roue :	**5'000**	N
Degré de compacité Marshall :	**98.8**	%	Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.9**
100	**2.9**
300	**4.2**
1'000	**6.3**
3'000	**9.1**
10'000	**13.7**
15'000	**15.7**



Pente : **0.338**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **13.7** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **15.7** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N°10/94** Code LAVOC : **OFFORME2029STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BA-G new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **24.10.97**

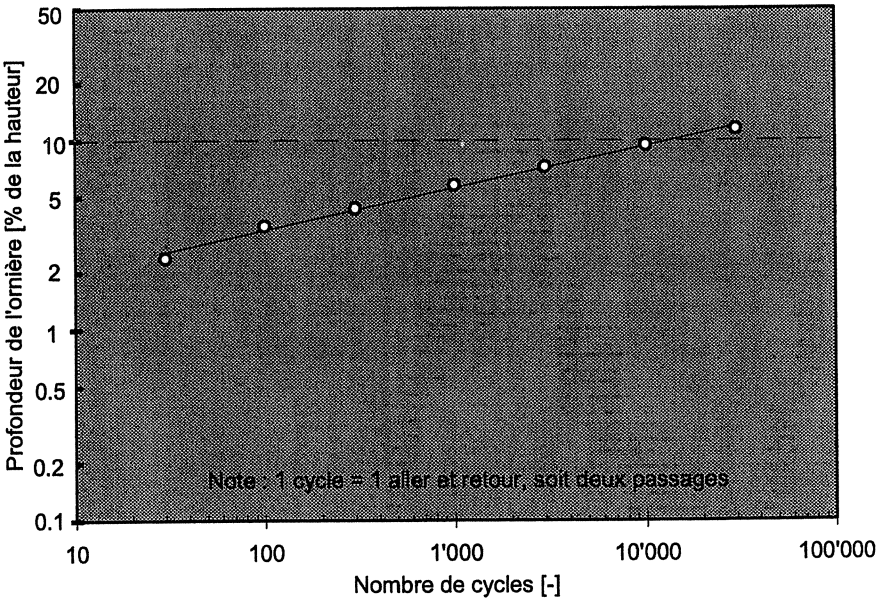
Date de l'essai : **30.10.97** Opérateur : **GO**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100** mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60** °C
Teneur en vides moyenne :	**8.0** %		Pression de gonflage :	**0.6** MPa
Degré de compacité Marshall :	**94.6** %		Charge par roue :	**5'000** N
			Fréquence de chargement :	**1** cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.6**
100	**3.4**
300	**4.3**
1'000	**5.6**
3'000	**7.1**
10'000	**9.3**
30'000	**11.8**



Pente : **0.217**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **9.3** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **11.8** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94**

Code LAVOC : **OFFORME2022STL**

N° d'échantillon LAVOC :

N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule AR-K new, 70% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

Date de l'essai : **26.09.97**

Opérateur : **GO**

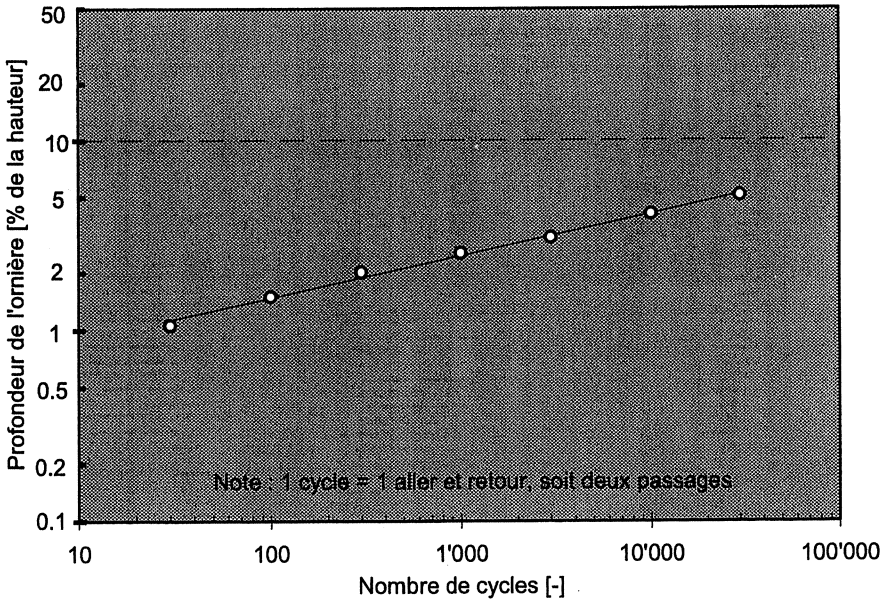
Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %	
Teneur en vides moyenne :	**6.0** %	
Degré de compacité Marshall :	**99.6** %	

Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Température d'essai :	**60**	°C
Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Charge par roue :	**5'000**	N
Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.1**
100	**1.5**
300	**1.9**
1'000	**2.5**
3'000	**3.1**
10'000	**4.1**
30'000	**5.2**



Pente : **0.222**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **4.1** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **5.2** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98

Le responsable des essais : M. Piu

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2028STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule AR-K new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **14.10.97**

Date de l'essai : **23.10.97** Opérateur : **GO**

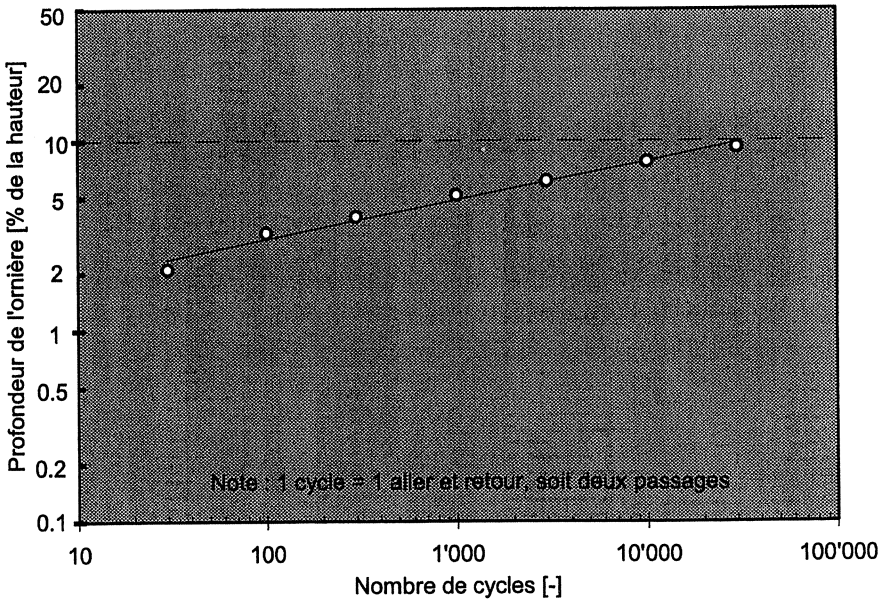
Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %	
Teneur en vides moyenne :	**10.0** %	
Degré de compacité Marshall :	**95.4** %	

Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Température d'essai :	**60**	°C
Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Charge par roue :	**5'000**	N
Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.4**
100	**3.0**
300	**3.8**
1'000	**4.9**
3'000	**6.1**
10'000	**7.8**
30'000	**9.8**



Pente : **0.205**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **7.8** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **9.8** %
Coefficient de corrélation : **0.98**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2031STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BU-K new , 50% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.09.97**

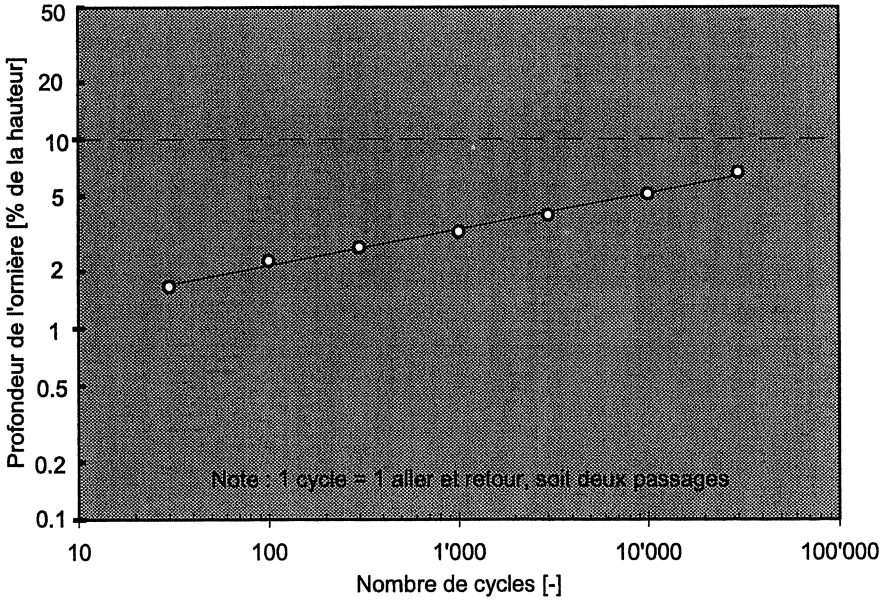
Date de l'essai : **05.11.97** Opérateur : **GO**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

			Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur enrobé :	**5.66**	% (mesurée)	Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en liant sur granulats :	**6.00**	%	Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Teneur en vides moyenne :	**4.9**	%	Charge par roue :	**5'000**	N
Degré de compacité Marshall :	**100.0**	%	Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.7**
100	**2.1**
300	**2.6**
1'000	**3.3**
3'000	**4.1**
10'000	**5.2**
30'000	**6.4**



Pente : **0.191**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **5.2** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **6.4** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2027STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BU-K new , 50% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **01.09.97**

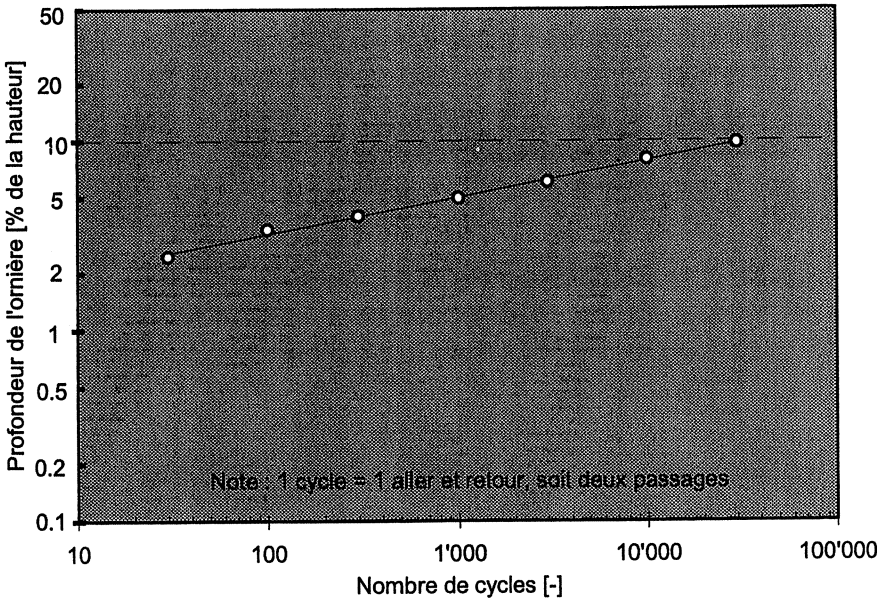
Date de l'essai : **23.10.97** Opérateur : **GO**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**8.3** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**96.5** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.5**
100	**3.2**
300	**4.0**
1'000	**5.1**
3'000	**6.3**
10'000	**8.0**
30'000	**10.0**



Pente : **0.199**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **8.0** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **10.0** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piu

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N°10/94** Code LAVOC : **OFFORME2023STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S,B 80/100 Cressier, formule BA-K new, 70 % cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **00.01.00**

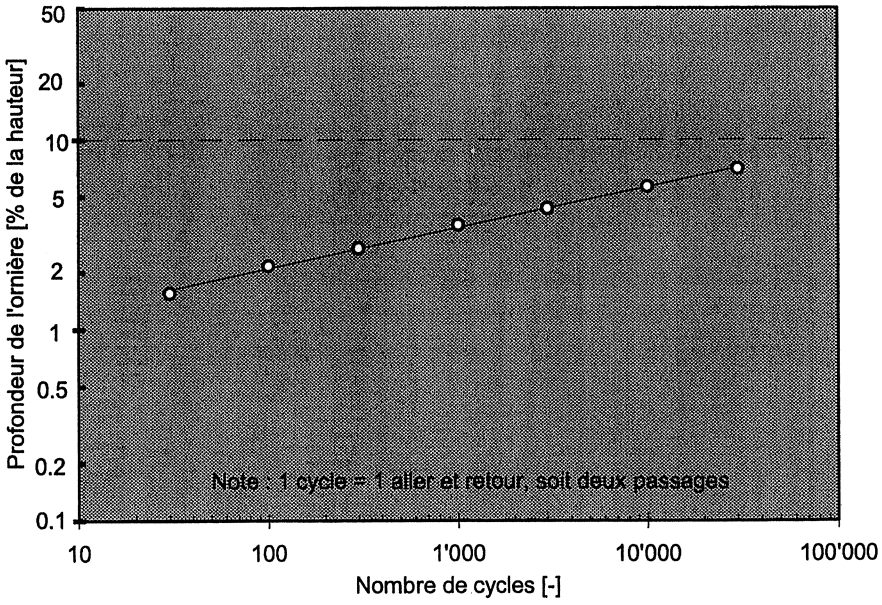
Date de l'essai : **01.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**4.9** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**100.1** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.6**
100	**2.1**
300	**2.7**
1'000	**3.4**
3'000	**4.4**
10'000	**5.6**
30'000	**7.1**



Pente : **0.215**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **5.6** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **7.1** %
Coefficient de corrélation : **1.00**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piles

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N°10/94** Code LAVOC : **OFFORME2026STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BA-K new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception :

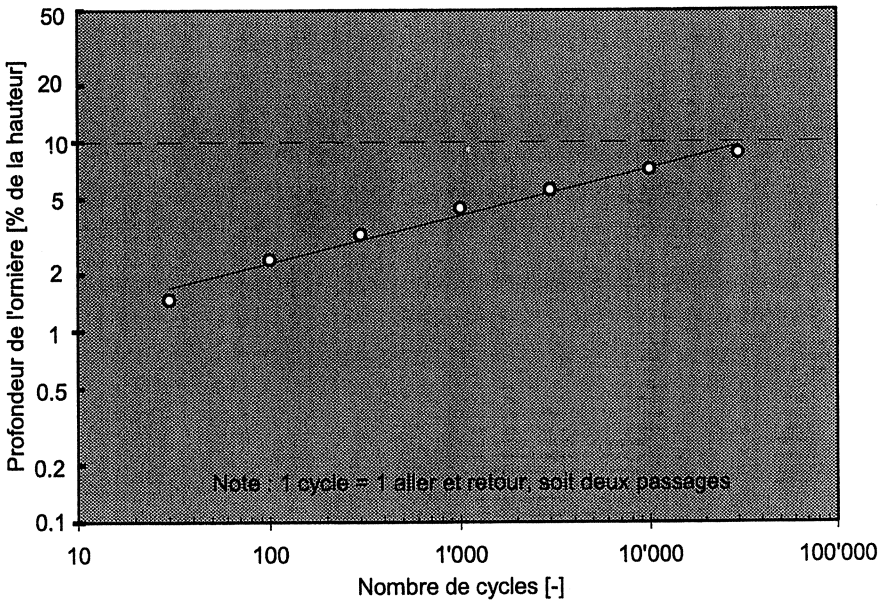
Date de l'essai : **06.10.97** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**9.0** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**95.8** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.7**
100	**2.3**
300	**3.0**
1'000	**4.1**
3'000	**5.3**
10'000	**7.2**
30'000	**9.5**



Pente : **0.250**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **7.2** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **9.5** %
Coefficient de corrélation : **0.98**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piaus

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2034STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 55/70 Cressier, formule BU-B new, 70% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **12.01.98**

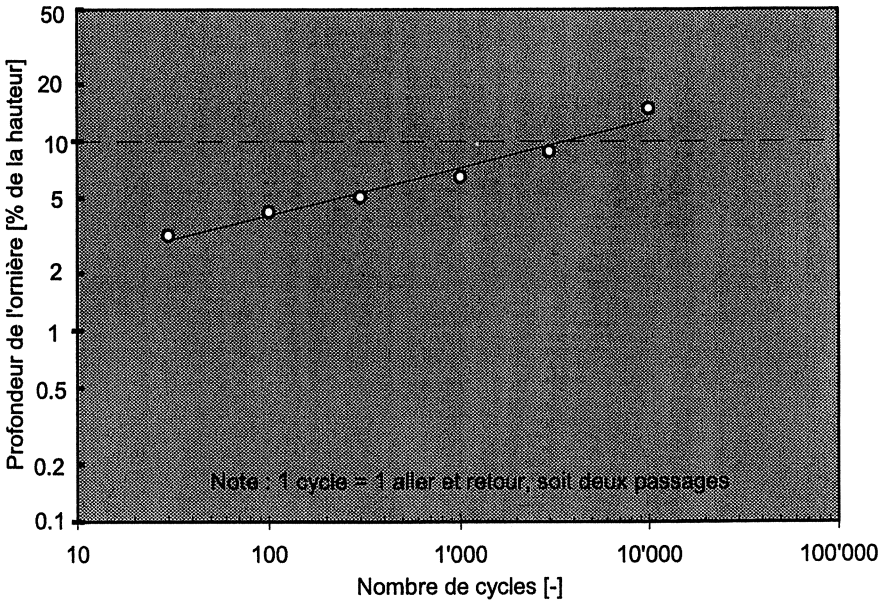
Date de l'essai : **13.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.46** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**5.78** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**2.2** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**100.6** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**3.0**
100	**4.0**
300	**5.3**
1'000	**7.2**
3'000	**9.5**
10'000	**12.9**



Pente : **0.251**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **12.9** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **17.0** %
Coefficient de corrélation : **0.97**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Ch. Pitet

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2033STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 55/70 Cressier, formule BU-B new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **12.01.98**

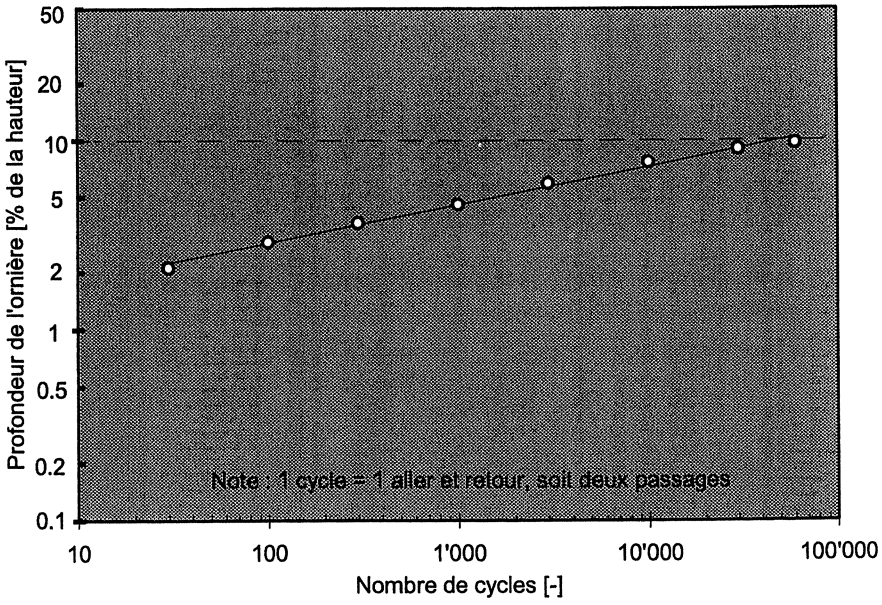
Date de l'essai : **13.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.46** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**5.78** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**5.7** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**97.1** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.2**
100	**2.9**
300	**3.6**
1'000	**4.5**
3'000	**5.7**
10'000	**7.2**
30'000	**9.0**
60'000	**10.4**



Pente : **0.201**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **7.2** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **9.0** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Dr. Piles

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2038STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule AR-K new , 70% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **30.01.98**

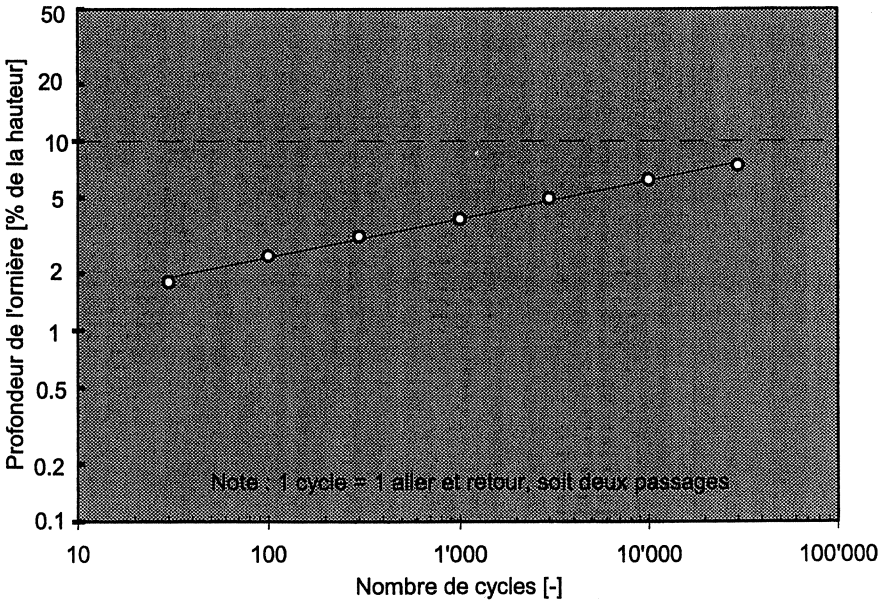
Date de l'essai : **13.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100** mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60** °C
Teneur en vides moyenne :	**4.7** %		Pression de gonflage :	**0.6** MPa
Degré de compacité Marshall :	**99.1** %		Charge par roue :	**5'000** N
			Fréquence de chargement :	**1** cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**1.9**
100	**2.4**
300	**3.0**
1'000	**3.9**
3'000	**4.8**
10'000	**6.1**
30'000	**7.7**



Pente : **0.202**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **6.1** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **7.7** %
Coefficient de corrélation : **1.00**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2037STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule AR-K new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **30.01.98**

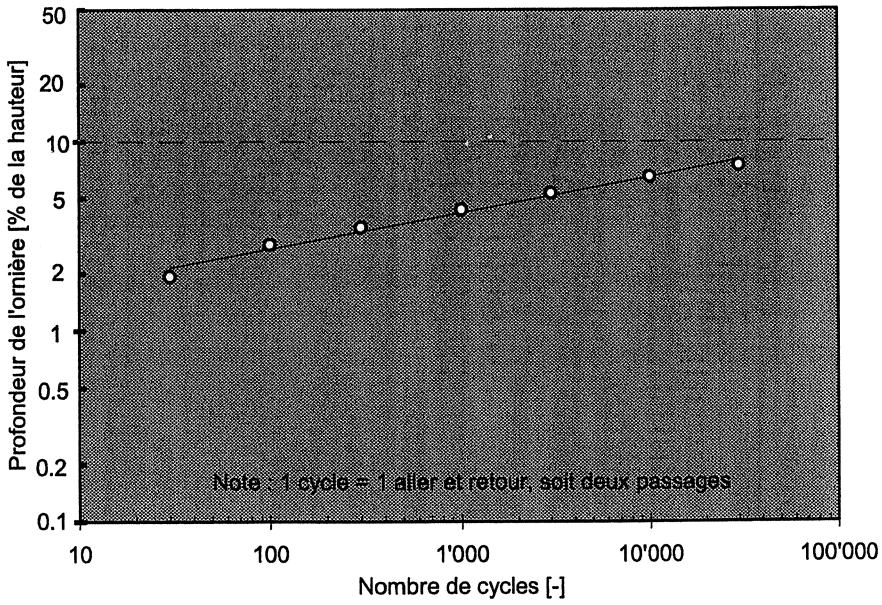
Date de l'essai : **13.02.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**8.4** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**95.3** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.1**
100	**2.7**
300	**3.3**
1'000	**4.2**
3'000	**5.1**
10'000	**6.5**
30'000	**8.0**



Pente : **0.190**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **6.5** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **8.0** %
Coefficient de corrélation : **0.98**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : Mr. Piles

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2040STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BA-B new, 50% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux (filler Eclépens)**

Date de réception : **16.01.98**

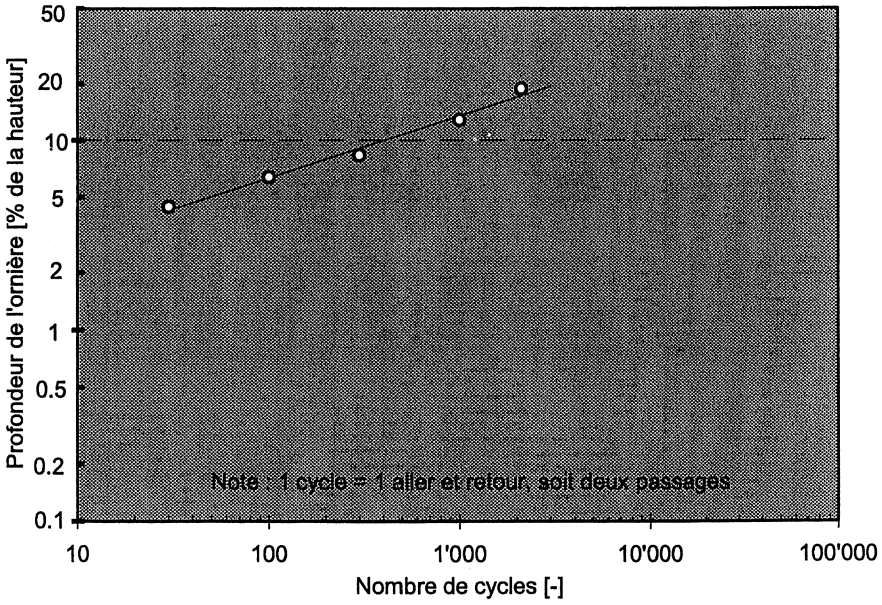
Date de l'essai : **17.02.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

			Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur enrobé :	**5.66**	% (mesurée)	Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en liant sur granulats :	**6.00**	%	Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Teneur en vides moyenne :	**2.6**	%	Charge par roue :	**5'000**	N
Degré de compacité Marshall :	**99.8**	%	Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**4.3**
100	**6.3**
300	**9.1**
1'000	**13.5**
2'114	**17.2**



Pente : **0.328**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **28.6** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **-** %
Coefficient de corrélation : **0.99**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piu

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2035STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BA-B new, 50% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **16.01.98**

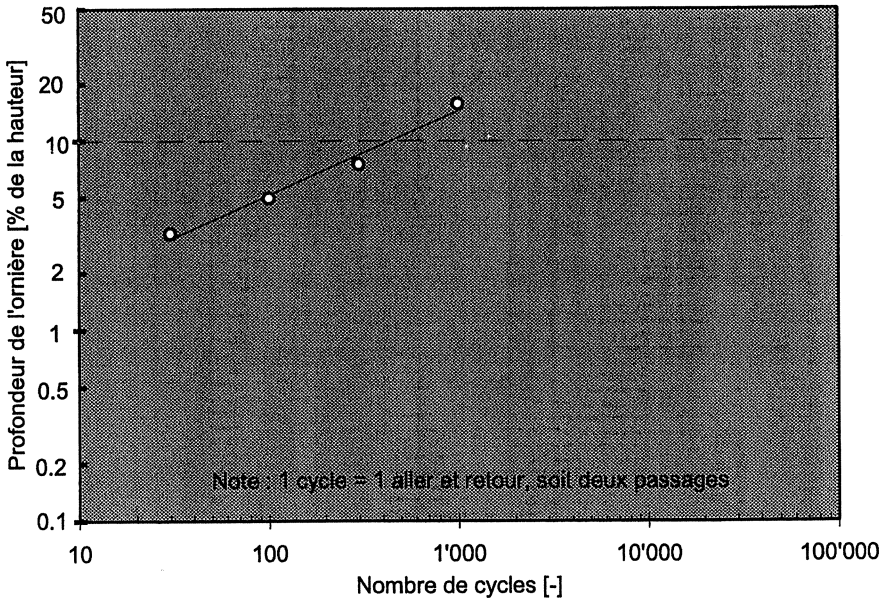
Date de l'essai : **28.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en vides moyenne :	**5.2** %		Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Degré de compacité Marshall :	**97.2** %		Charge par roue :	**5'000**	N
			Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**3.0**
100	**5.1**
300	**8.4**
1'000	**14.3**



Pente : **0.444**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **39.8** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **-** %
Coefficient de corrélation : **0.98**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piller

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2039STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BU-G new, 70% cubiques, compact. fort**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux (filler Eclépens)**

Date de réception : **23.01.98**

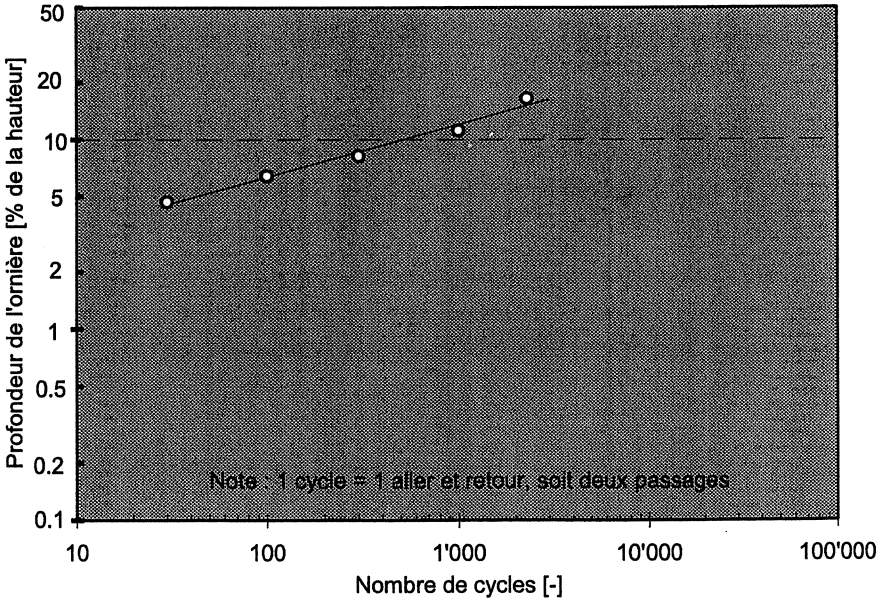
Date de l'essai : **17.02.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

			Epaisseur théorique des plaques :	**100**	mm
Teneur en liant sur enrobé :	**5.66**	% (mesurée)	Température d'essai :	**60**	°C
Teneur en liant sur granulats :	**6.00**	%	Pression de gonflage :	**0.6**	MPa
Teneur en vides moyenne :	**2.6**	%	Charge par roue :	**5'000**	N
Degré de compacité Marshall :	**99.2**	%	Fréquence de chargement :	**1**	cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**4.5**
100	**6.3**
300	**8.6**
1'000	**12.0**
2'300	**15.2**



Pente : **0.278**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **22.8** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **-** %
Coefficient de corrélation : **0.98**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piles

Laboratoire des Voies de Circulation
LAVOC-DGC-EPFL
1015 Lausanne
Tél: 021/693.23.45
Fax: 021/693.63.49

PROCES-VERBAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Essai au simulateur de trafic LCPC

Informations générales

Mandant : **OFR N° 10/94** Code LAVOC : **OFFORME2036STL**

N° d'échantillon LAVOC : **OFFORME2** N° d'échantillon client : **-**

Description du produit : **AB 11 S, B 80/100 Cressier, formule BU-G new, 70% cubiques, compact. faible**

Objet : **Influence de la forme des granulats sur les bétons bitumineux, 2ème étape**

Date de réception : **23.01.98**

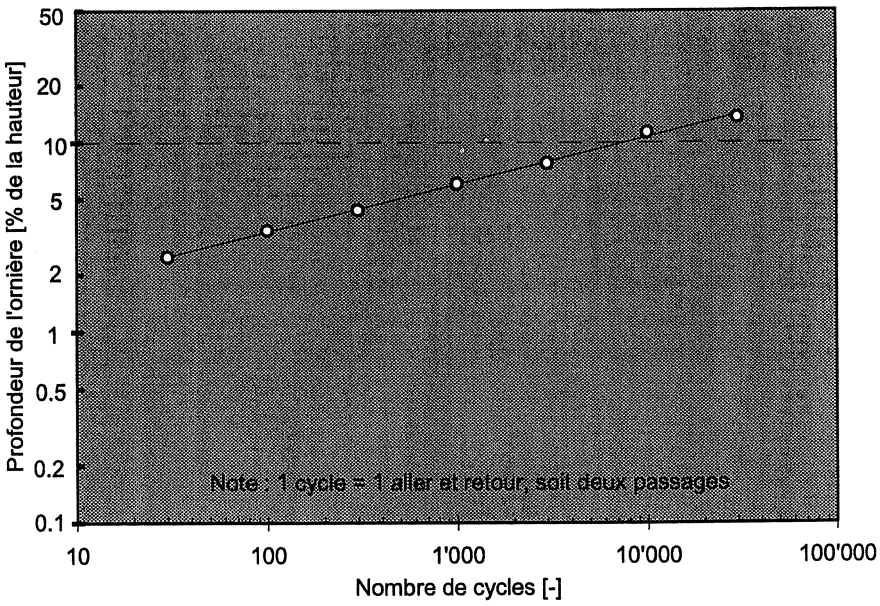
Date de l'essai : **30.01.98** Opérateur : **G.O**

Résultats

Mode opératoire: NF P 98-253-1

Teneur en liant sur enrobé :	**5.66** %	(mesurée)	Epaisseur théorique des plaques :	**100** mm
Teneur en liant sur granulats :	**6.00** %		Température d'essai :	**60** °C
Teneur en vides moyenne :	**5.7** %		Pression de gonflage :	**0.6** MPa
Degré de compacité Marshall :	**96.0** %		Charge par roue :	**5'000** N
			Fréquence de chargement :	**1** cycle.s-1

Nbre de cycles [-]	Profondeur calculée de l'ornière [%]
30	**2.5**
100	**3.4**
300	**4.4**
1'000	**6.0**
3'000	**7.9**
10'000	**10.7**
30'000	**14.0**



Pente : **0.250**
Ornière calculée à 10'000 cycles : **10.7** %
Ornière calculée à 30'000 cycles : **14.0** %
Coefficient de corrélation : **1.00**

Date : 15.10.98 Le responsable des essais : M. Piles

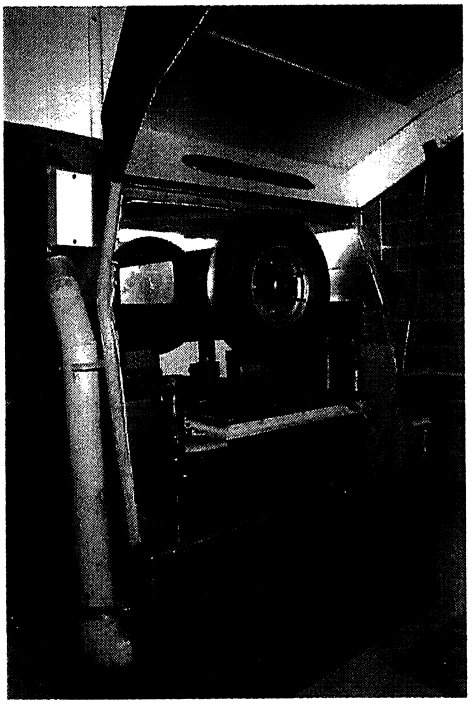
V. Fiches de matériel de laboratoire

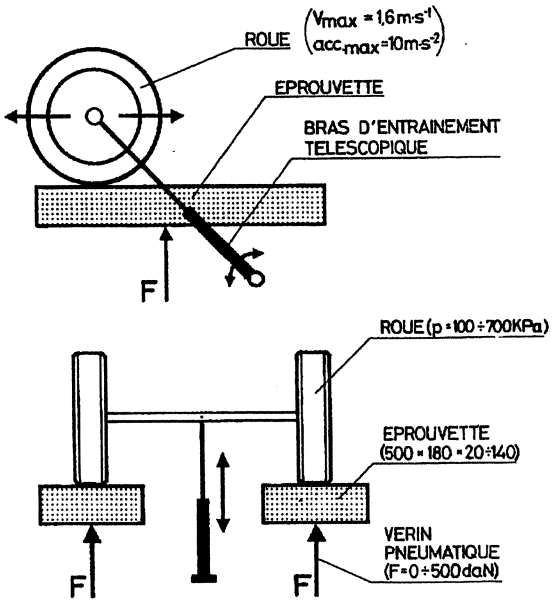
a) Simulateur de trafic LPC

Le simulateur de trafic est un instrument de laboratoire qui permet de tester :

- la susceptibilité à l'orniérage des bétons bitumineux
- la tenue aux sollicitations tangentielles des couches de roulement bitumineuses, en particulier les enduits superficiels et les revêtements minces.

L'éprouvette, de forme parallèlépipédique, est confectionnée sur une table de compactage LPC ou prélevée dans une chaussée.





L'orniéreur, équipé de 2 berceaux indépendants, permet de tester 2 éprouvettes en parallèle avec des paramètres identiques ou non.

La surface de chacune des éprouvettes est soumise aux sollicitations d'une roue montée sur un chariot animé d'un mouvement alternatif sinusoïdal.

La charge est appliquée par un vérin qui agit sur le berceau support de chacune des éprouvettes.

Un effet de cisaillement latéral peut être introduit par la modification de l'angle de la roue par rapport au sens de roulement.

Le simulateur est caréné et calorifugé. Il permet donc de réaliser les essais à une température régulée et constante.

Les caractéristiques principales de l'orniéreur sont les suivantes :

- dimensions de l'éprouvette :
  L x B x H = 500 x 180 x max. 140 mm
- charge exercée par le vérin : max. 5 kN
- pression du pneu : 0,100 à 0,700 MPa
- fréquence : 7200 passages/heure.

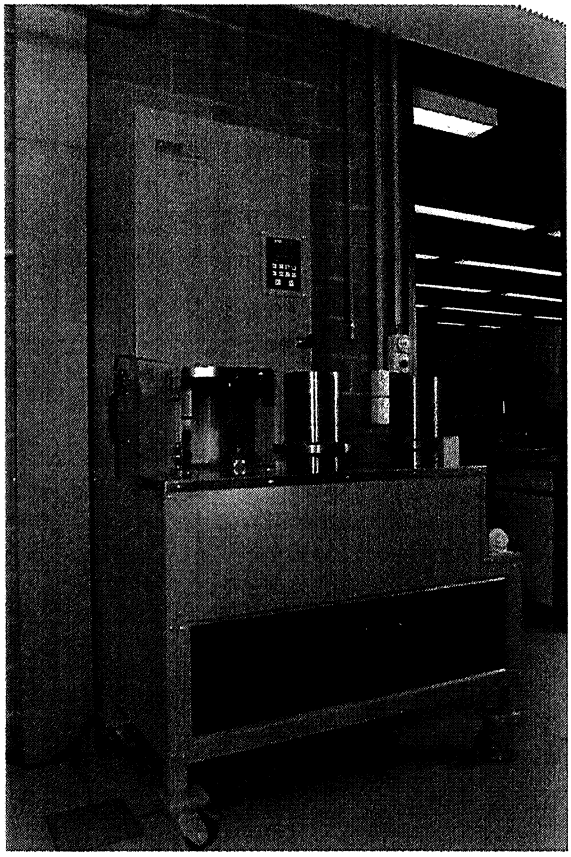
b) PCG (Presse à cisaillement giratoire)

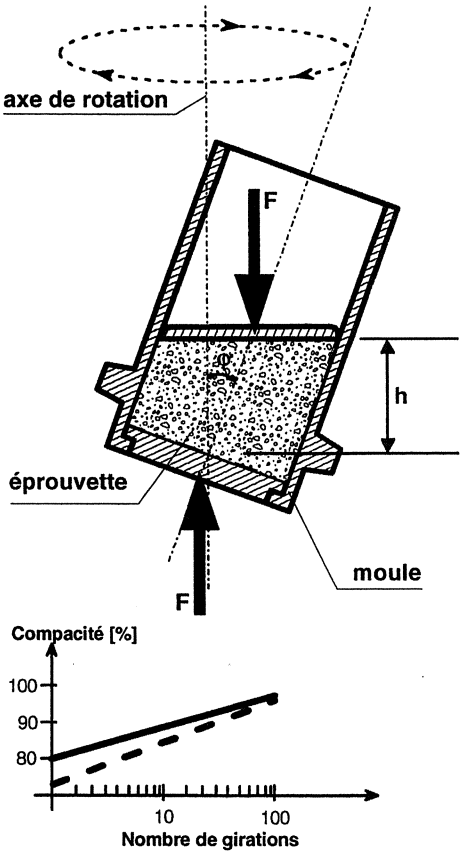
La presse à cisaillement giratoire sert à évaluer l'aptitude au compactage des bétons bitumineux.

L'instrument compacte des échantillons de béton bitumineux par pétrissage allié à une compression statique.

Le mouvement global assure une réorientation continuelle des granulats, ce qui facilite le compactage et limite une destruction de la granularité.

Une éprouvette est comprimée au sein d'un moule cylindrique incliné dont l'axe en mouvement rotatif décrit un cône. La configuration de l'éprouvette à chaque instant est donc un cylindre oblique à extrémités parallèles.





La hauteur de l'éprouvette est mesurée en continu à l'aide d'un capteur de déplacement, ce qui permet de connaître l'évolution de la compacité du béton bitumineux testé en fonction du nombre de girations.