

COMPARAISON ET EVALUATION
DES ESSAIS COURANTS SUR LES
ENROBES BITUMINEUX

M. Abdelaziz DAHBI
Directeur du Centre National
d'Etudes et de Recherches Routières
D R C R

I - INTRODUCTION ET HISTORIQUE :

Pour l'étude de certains enrobés fins, au début du siècle, il a été mis au point aux U.S.A un essai intitulé HUBBARD-FIELD. L'essai consiste à mesurer la pression qui provoque l'extension d'une éprouvette cylindrique placée sur un appui cylindrique creux d'un diamètre légèrement inférieur au diamètre de l'éprouvette.

A la suite de cet essai, il apparaît logique de traiter les enrobés comme des matériaux solides et de les étudier en compression simple suivant une génératrice d'une éprouvette cylindrique.

Ainsi, deux essais particuliers ont été mis au point :

- essais Marshall aux U.S.A
- essais Duriez en France.

Ces essais classiques comportent chacun deux parties :

- 1) la fabrication d'éprouvettes d'enrobé au laboratoire,
- 2) l'écrasement de ces éprouvettes.

Ces deux essais se pratiquent à des températures et à des vitesses de déformation parfaitement définies. Ce sont deux facteurs extrêmement importants pour le comportement des corps visco-élastiques que sont les enrobés bitumineux.

La présente note a pour objet de donner une description sommaire des deux essais Marshall et Duriez et de traiter les points suivants :

- exploitation et interprétation des résultats
- comparaison des essais
- effet des bitumes sur les caractéristiques Duriez et Marshall d'un enrobé
- remarques sur la validité de ces essais.

II - DESCRIPTION SOMMAIRE DES ESSAIS MARSHALL ET DURIEZ

A - Essai Marshall:

L'essai Marshall est un essai classique qui a pour but de déterminer la stabilité et le fluage Marshall d'un enrobé bitumineux à chaud constitué de granulats ne dépassant pas la dimension de 20 mm. L'essai se pratique sur une éprouvette de dimension donnée.

1 - Principe de l'essai:

La stabilité Marshall est la valeur de la charge maximale obtenue par un essai de compression simple exercé suivant une génératrice d'une éprouvette cylindrique semi-frettée et préalablement compactée.

L'essai Marshall est réalisé dans des conditions et suivant un processus bien déterminé ; la compression est appliquée sur l'éprouvette après une demi-heure d'immersion dans l'eau à une température donnée qui est en général 60°C et à une vitesse d'écrasement de 50,8mm/mn.

2 - Fabrication des éprouvettes :

Les matériaux secs préparés sont portés à une température fonction du type de liant.

Enrobé à base de bitume :	80/100	140°C
	60/70	150°C
	40/50	160°C

On procède à l'enrobage des matériaux avec la quantité de liant chaud nécessaire. Les moules préalablement chauffés sont enduits d'antiadhésif.

On place sur le moule la hausse qui sert uniquement de guidage pour la dame de compactage. On pose un disque de papier filtre dans le fond du moule pour éviter que l'enrobé adhère à la base.

L'enrobé est placé dans le moule de façon à ce que la hauteur de l'éprouvette soit environ 6,35 an + 3 mm. Après égalisation de la surface de l'enrobé un deuxième disque de papier filtre est posé pour éviter que la dame colle à l'éprouvette. On place l'ensemble sous le compacteur Marshall et on applique un certain nombre de coups en fonction des caractéristiques du trafic et du revêtement (voir tableau N° 1)

La dame Marshall est une masse guidée pesant 4,545 Kg tombant verticalement d'une hauteur de 457 mm.

L'éprouvette est retournée pour un compactage similaire de l'autre face.

3 - Ecrasement des éprouvettes :

Après refroidissement complet, les éprouvettes sont démoulées et conservées dans un bain thermostatique porté à la température de 60° c (ou 40,30,...).

Les machoires entre lesquelles seront placées les éprouvettes pour être écrasées sont également mises dans le bain thermostatique pour le même délai. Ensuite l'éprouvette mise entre les machoires est écrasée à l'aide d'une presse réglée à la vitesse de 0,846 mm/s.

4 - Présentation des résultats :

Les résultats sont présentés de la façon suivante :

- masse volumique apparente de l'éprouvette par :
 - .Les mesures géométriques
 - .La balance hydrostatique MVA.

- masse volumique réelle des granulats MVRg
- masse volumique réelle de l'enrobé MVR
- compacité de l'éprouvette c
- pourcentage de vides résiduels V R
- masse volumique apparente des granulats dans l'éprouvette MVAg
- pourcentage de vide :
 - . occupé par l'air et le liant V
 - . comblé par le liant V1
- stabilité Marshall à 0°C, en daN
- fluage Marshall en 1/10 e mm.

B - Essai Duriez :

L'objet de cet essai est de caractériser les qualités de résistance mécanique et de résistance au désenrobage par l'eau des matériaux enrobés.

Cet essai, applicable à tous les enrobés bitumineux est effectué:

-avec un moule de 8 cm de diamètre, dit "moule normal" destiné aux matériaux ne comportant pas d'éléments égaux ou supérieurs à 14 mm.

-avec un moule de 12 cm de diamètre, dit "moule dilaté " destiné aux matériaux ne comportant pas d'éléments égaux ou supérieurs à 31,5mm

Cet essai est communément appelé "essai Duriez"

1 - Principe de l'essai :

Des éprouvettes d'enrobés sont réalisées dans des moules cylindriques. L'enrobé est placé dans un moule et compacté en appliquant sur les deux faces de l'éprouvette une pression statique.

Les éprouvettes obtenues sont conservées pendant 7 jours soit à l'air, soit immergées dans l'eau. Ces éprouvettes sont ensuite écrasées à la vitesse de déformation de 1mm/s et à des températures de 0°, 18° et 50°C. La stabilité Duriez est la contrainte maximale enregistrée.

2 - Fabrication des éprouvettes :

Les granulats secs sont préparés et portés à une température donnée en fonction du type de liant.

Enrobé à base de bitume	80/100	140°C
"	60/70	150°C
"	40/50	160°C
"	20/30	180°C

L'enrobage est effectué ensuite avec la quantité de liant chaud nécessaire et placé dans le moule préalablement chauffé et enduit d'antiadhésif.

Le contenu du moule est comprimé pendant 5mm avec une force de 60KN pour le "moule normal" et de 120 KN pour le "moule dilaté". Après moule refroidissement les éprouvettes sont démoulées.

2 - Ecrasement des éprouvettes :

Les éprouvettes sont placées pendant 24 heures dans une étuve à 18°C, ensuite elles sont séparées en deux lots:

a - Éprouvettes immergées :

On procède comme suit :

.dégazage pendant une heure à la cloche à vide avec une dépression de 350mm de mercure,

.par siphonnage, on introduit de l'eau dans la cloche jusqu'à un centimètre au dessus des éprouvettes. La durée de l'immersion est de 2 heures sous une dépression de 350 mm de mercure.

.immersion des éprouvettes sous deux centimètres d'eau, dans une étuve à 18°C pendant 7 jours.

b - Éprouvettes non Immergées :

Ces éprouvettes sont placées pendant 7 jours à l'air dans une étuve à 18°C et à un degré hydrométrique de 50%.

Les éprouvettes sont ensuite écrasées avec une presse dont la vitesse est de 1mm/s et à des température de 0,18 ou 50°C.

4 - Présentation des résultats :

Les résultats sont présentés de la façon suivante

-masse volumique apparente de l'éprouvette par :

.Les mesures	MVa
.La balance hydrostatique	MVA

-masse volumique réelle des granulats MVRg

-masse volumique réelle de l'enrobé MVR

-compacité de l'éprouvette C

-pourcentage de vides résiduels Vr

-masse volumique apparente des granulats dans l'éprouvette MVAg

-pourcentage des vides :

.occupés par l'air et le liant v	
.comblés par le liant	V

-résistance à la compression, à 0°C, à la vitesse de 1mm/s, 8 jours après confection dont 7 jours d'immersion dans l'eau, soit en $10E + 5$ pa.

-rapport $\frac{10r}{R}$

III - EXPLOITATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS :

A - Exploitation classique des résultats :

1 - La méthode Marshall ou la méthode du corps of Engineers :

Le corps of Engineers fut amené, lors de la seconde guerre mondiale, à mettre au point une méthode d'étude des enrobés denses et bétons bitumineux pour les pistes d'aérodromes et pour les routes soumises à un trafic lourd.

Il a cherché en particulier à réaliser en laboratoire un compactage qui s'approche autant que possible de celui réalisé sur chantier et immédiatement après la mise en service du revêtement. Enfin il s'est attaché à un appareillage simple qui soit facilement utilisable dans des laboratoires mobiles. Ses recherches l'ont amené à retenir la méthode proposée par Bruce Marshall du Mississippi State Highway Departement, et ses études sur pistes d'essais lui ont permis de fixer certaines spécifications auxquelles doivent satisfaire les mélanges.

Après avoir donné satisfaction durant très longtemps cette méthode semble actuellement critiquée au sein même de Corps of Engineers qui lui reproche de ne pas mettre suffisamment en lumière certains cas de densification excessive de bétons bitumineux sous trafic lourd ou sous des pneumatiques à très haute pression.

Certains aux Etat-Unis, ont proposé de substituer au compactage classique de l'essai Marshall le compactage par cisaillement giratoire, opérant par pétrissage de l'enrobé, c'est cependant une méthode bien complexe pour un simple moyen de fabrication des éprouvettes, et la plupart des laboratoires continuent à utiliser la méthode de compactage traditionnelle.

Nous avons donné des indications sur le processus de l'essai de stabilité. Cet essai se pratique sur des éprouvettes préparées avec différentes teneurs en liant, étant rappelé qu'il faut 8 éprouvettes pour chaque teneur en liant. On choisira en général 4 ou 5 teneurs en liant différentes. Pour chacune d'entre elles, on déterminera :

- la stabilité
- l'écrasement diamétral au moment de la rupture
- le pourcentage de vides
- le pourcentage des vides des granulats rempli par le bitume.

Et on reportera sur des graphiques des courbes représentatives de la variation de ces caractéristiques en fonction de la teneur en liant. Ces résultats permettront de choisir la teneur en liant "OPTIMUM" (figure 1).

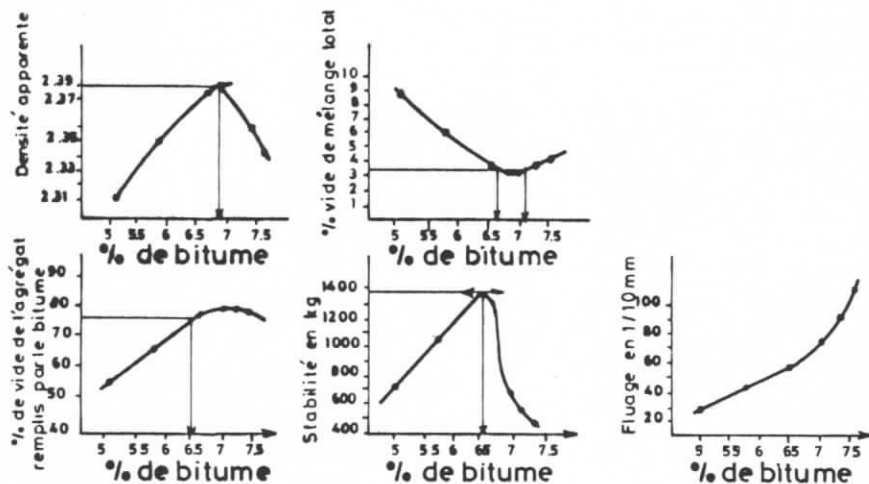


fig1_Variation des caractéristiques d'un enrobé en fonction de la teneur en liant. - Etude Marshall. -

En France, l'usage qui est fait de l'essai MARSHALL est beaucoup plus restreint. Par exemple, la Directive pour la réalisation des couches de surface de chaussées en béton bitumineux fixe une compacité MARSHALL maximale (voir tableau du paragraphe 3.A.) sans fixer des valeurs pour la stabilité et le fluage et le justifiant par la considération que:

L'essai MARSHALL est, quant à la valeur de la stabilité et du fluage, beaucoup trop sensible aux conditions opératoires pour servir de base à des spécifications à l'échelon national. Mais les laboratoires en tireront de très utiles renseignements, notamment en examinant le module de rigidité MARSHALL (rapport stabilité fluage) et l'évolution de la compacité en fonction de taux de compactage.

On peut ajouter qu'un formulateur ayant une expérience professionnelle suffisante peut tirer de très utiles renseignements de la comparaison des résultats de l'essai DURIEZ à 18°C à ceux de l'essai MARSHALL à 60°C : en particulier sur la sensibilité de la formule à la température (résistance au fluage et sur son aptitude ou sa sensibilité au compactage).

2 - Essai DURIEZ :

La méthode généralement utilisée en France consiste à partir d'un granulat simple ou composé, entrant dans le fuseau recommandé, à choisir une teneur en liant fonction de la surface spécifique calculée de granulat, et à soumettre le mélange compacté comme il a été dit à l'essai de compression simple avant et après immersion. On vérifie que le pourcentage des vides est convenable, que la stabilité à sec est suffisante et que après immersion, la chute de résistance à la compression est faible.

Il est recommandé, quoique ce ne soit pas toujours de pratique courante, de réaliser des mélanges avec plusieurs teneurs en liant voisines de la teneur théorique choisie à partir de la surface spécifique de telle sorte qu'on puisse juger de l'incidence de ce facteur sur les caractéristiques de l'enrobé, et éviter de tâtonner si on doit justement modifier cette teneur en liant par suite de l'insuffisance des performances.

Le mélange étant ainsi défini, on procède à la confection d'éprouvettes qu'on soumet à l'écrasement, après avoir calculé la compacité. De ces essais préliminaires, on tire donc trois renseignements :

- compacité
- stabilité à sec
- stabilité après immersion.

Si de plus on a pris soin de préparer des échantillons avec des teneurs en liant inférieures et supérieures à celles qui résultent du choix du module de richesse, on est en mesure d'apprécier le rôle du dosage en liant.

Il est intéressant de noter l'utilisation qui est faite des essais Duriez dans les Directives Françaises pour la "réalisation des couches de surface de chaussée en béton bitumineux " d'une part, et pour la "réalisation des assises de chaussées en graves-bitume et en sables-bitume" d'autre part .

La première mentionne expressément que l'étude devrait comprendre, au minimum :

- des essais d'immersion-compression (dits essais Duriez) à 18°C
- des essais de compression diamétrale (essais brésiliens) à 18°C
- une étude Marshall, à quatre taux de compactage : 25,50,75,100 coups.

Elle sera fort opportunément complétée par :

- des essais d'immersion-compression à 0°C (à sec uniquement) et à 50°C.
 - des essais brésiliens à 0°C et 5°C
 - d'autres essais, éventuellement, selon les indications données par le laboratoire centrale des Ponts et chaussées.
- et précise que, actuellement seuls :

- la compacité "LCPC" (balance hydrostatique)
- la compacité Marshall (balance hydrostatique)
- la résistance à la compression à 18°C
- le rapport immersion/compression.

sont utilisés pour fixer les performances à obtenir :

Elle fixe le tableau de performances suivant :

Bétons bitumineux 0/10 ou 0/14	couche de liaison	couche de roulement
compacité 'LCPC' en %		
.minimale	91	91
.maximale	95	95
résistance à la compression en 10 ⁵ pa		
.avec bitume 80/100	50	50
.avec bitume 60/70	60	60
.avec bitume 40/50	70	70
Rapport immersion-compression	0,75	0,75
Compacité MARSHALL, en % maximale	95	96

Elle justifie l'existence d'une fourchette pour la compacité DURIEZ (et aussi d'un plafond pour la compacité MARSHALL) par les considérations suivantes:

-pour de nombreuses raisons (résistance à la traction, module, résistance à la fatigue, imperméabilité, résistance à l'action du sel, etc..) il est nécessaire, pour les bétons bitumineux, d'avoir une compacité suffisamment élevée.

-le trafic, surtout le trafic poids lourds, apporte un supplément de compactage, dont d'ailleurs la valeur est mal connue, en particulier pour les bétons bitumineux visés dans cette Directive.

-il importe, enfin, que la compacité absolue en place de l'enrobé ne risque pas de dépasser 97%, sous peine d'apparition de phénomènes d'instabilité,

-pour ces bétons bitumineux de formules semi-grenue et grenue, relativement peu maniables, la compacité obtenue sur chantier est normalement supérieure, à la compacité LCPC et s'approche parfois de la compacité MARSHALL.

La première Directive indique aussi, en cas d'hésitation entre plusieurs formules, que pour tenir compte des dispersions normales de fabrications et de compactage, il est toujours préférable de choisir des compositions où les caractéristiques de compacité d'abord, de résistance mécanique ensuite, varient le moins lorsque les caractéristiques de composition varient (courbes "plates") même si les performances mécaniques maximales sont un peu plus faibles.

La seconde Directive déclare que pour les graves bitume, l'étude devra comprendre, au minimum, des essais d'immersion-compression (dits essais Duriez "dilatés" à 18 et 50°C).

Actuellement seuls :

- la compacité LCPC (balance hydrostatique)
- la résistance à la compression à 18°C
- le rapport immersion-compression.

sont utilisés pour fixer les performances à obtenir car l'introduction des autres essais est trop récente pour que l'on ait pu en tirer les renseignements généraux permettant de les utiliser pour des spécifications nationales.

Elle fixe les niveaux de performances suivants :

Graves-bitumes 0/20 et 0/31,5

	couche de base	couche de fondation
<u>Essai d'immersion-compression à 18°</u>		
Compacité LCPC en %		
. minimale	88	85
. maximale	96	96

Résistance la compression en $10E+5$ pa

	avec indice de concassage 85	avec indice de concassage 85	
.avec bitume 60/70	50	40	30
.avec bitume 40/70	60	50	40
rapport immersion- compression	0,65		0,65

et précise aussi qu'il est important de déterminer la correspondance entre la compacité LCPC obtenue en laboratoire lors de l'étude et celle qu'il sera pratiquement possible d'obtenir sur chantier.

En première approximation, on considère que la compacité moyenne sur chantier est supérieure ou égale à la compacité LCPC de laboratoire, mais il importera de la vérifier par les constatations (compacité moyenne et dispersion).

Afin de pouvoir illustrer l'interprétation des résultats classiques Marshall et Duriez, on donne ci-après les caractéristiques d'une composition qui a servi de base pour répondre à cet objectif. Cette étude a été faite par le laboratoire "Shell recherche S.A".

-caractéristiques du béton bitumineux.

La formule utilisée est une formule classique d'un béton bitumineux 0/10 semi-grenu. La composition était la suivante :

0/6	LA NOUBLEAU	30,0%
4/6	LA NOUBLEAU	20,0%
2/4	LA NOUBLEAU	12,0%
0/2	LA NOUBLEAU	30,2%
	FILLER	7,8%
	BITUME	6PPC

La courbe granulométrique est donnée par le tableau

TAMIS (mm)	!0,08	!0,16	!0,40	!1,0	!2,0	!4,0	!6,3	! 10	! 14	!
DE PASSANT	! 8	! 11	! 16	! 26	! 37	! 53	! 75	! 99	! 100	!

-caractéristiques du bitume :

Les caractéristiques (avant et après enrobage) sont reportées dans le tableau 3. Les qualités employées et les susceptibilités à la température sont variables (Indice de pénétration varie de -1,2 à + 1,7). L'extraction du liant des enrobés a été effectuée à l'aide de sulfure de carbone.

Dans la suite de ce rapport nous donnons une interprétation d'une partie de cette étude.

B - Interprétation des résultats :

Les essais Marshall et Duriez sont effectués à des températures différentes et les bitumes utilisés dans les enrobés ont des caractéristiques différentes. Pour pouvoir comparer et interpréter les résultats, il est utile d'examiner quelle est l'influence de ces paramètres sur les essais.

1 - Essais Marshall

La stabilité Marshall est fonction de la température de l'essai et de la consistance du bitume (Figure 2 et 3).

A partir d'un grand nombre d'essai des équations ont été trouvées pour le bitume original et le bitume extrait :

$$\begin{aligned} \text{a). } \log (\text{stabilité Marshall}) &= 0,527 \times \log \\ &(\text{pen origine}) + 0,4607. \\ \text{.coefficient de corrélation } R &= 0,954 \\ \text{.écart type } E &= 0,065 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b). } \log (\text{stabilité Marchall}) &= 0,553 \times \log \\ &(\text{pen. extrait}) + 5,401 \\ \text{.coefficient de corrélation } R &= 0,926 \\ \text{.écart type } E &= 0,082 \end{aligned}$$

On peut constater que la dispersion des résultats est plus importante avec la pénétration du bitume extrait qu'avec la pénétration du bitume d'origine.

2 - Essais Duriez :

Sur le même enrobé des essais Duriez ont été effectués. La résistance mesurée évolue avec la température de l'essai. Le type de relation qui a été donné est le suivant :

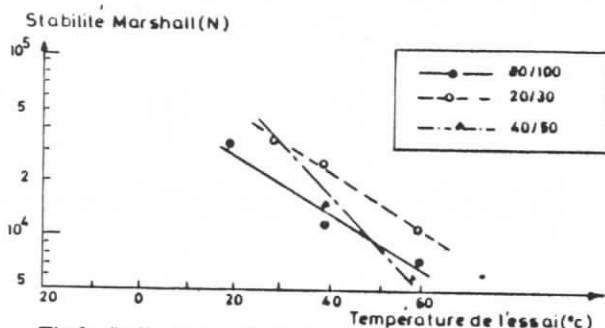


Fig2.. Influence du bitume sur la stabilite Marshall

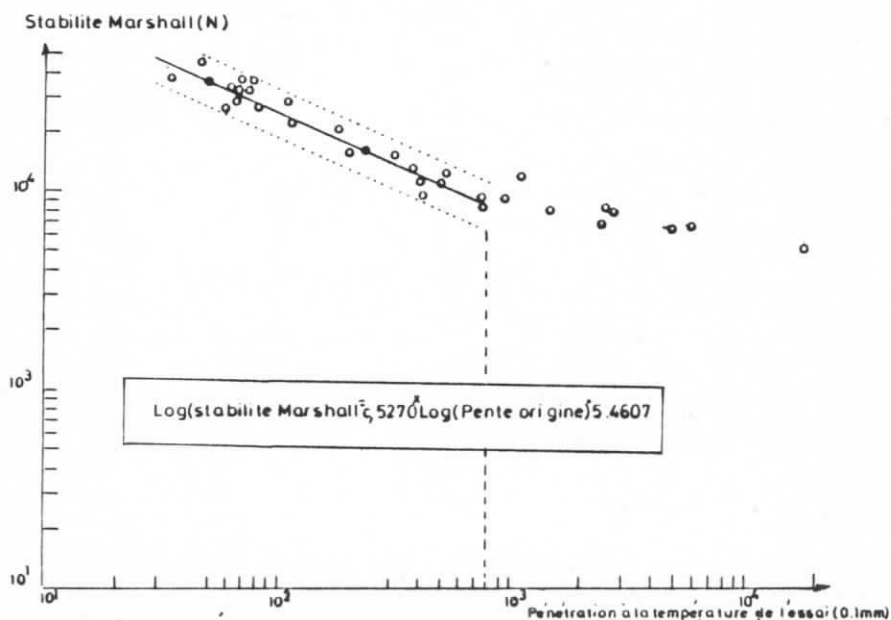


Fig3.. Stabilité Marshall en fonction de la pénétration à la température de l'essai. — bitume origine —

$$\text{Log } R_0 = C - \frac{0}{37}$$

Des essais ont été effectués sur un béton bitumineux 0/10 semi-grenu, avec deux bitumes de pénétrabilités différentes. La variation des résistances à la compression simple en fonction de la température est illustrée par la figure 4.

Les équations des droites obtenues (voir figure 5) sont:

a). $\log (\text{stabilité Duriez}) = - 0,575 \times \log$
 (pen origine) + 2,693

.coefficient de corrélation $R = 0,989$
 .écart type $E = 0,067$

b) . $\log (\text{stabilité Duriez}) = - 0,602 \times \log$
 (pen extrait) + 2,638

.coefficient de corrélation $R = 0,990$
 .écart type $E = 0,068$

On constate que l'écart type sur le logarithme de la stabilité est de 0,67 pour les deux droites, ce qui correspond à un facteur de 1,17 sur la stabilité. Ainsi, on peut calculer :

-la probabilité de 68% pour déterminer une stabilité mesurée comprise dans la fourchette de
 1,17 x stabilité calculée et
 0,86 x stabilité calculée.

-la probabilité de 95% pour déterminer une stabilité mesurée comprise entre
 1,36 x stabilité calculée
 0,73 x stabilité calculée .

IV - COMPARAISON DES RESULTATS :

Pour la comparaison des résultats, des essais ont été effectués sur le même béton bitumineux 0/10. Il a été constaté que l'influence de la température de l'essai et de la pénétration du bitume est équivalente pour les deux essais Marshall et Duriez.

Pour pouvoir comparer ces deux essais, on a assimilé l'essai Marshall à un écrasement en compression simple d'une éprouvette ayant les dimensions suivantes :

-longueur 10 cm
 -largeur 6,35 cm
 -hauteur 2,0 cm

Ceci a été justifié par le fait que seule la partie libre de l'éprouvette entre les machoires peut se déformer.

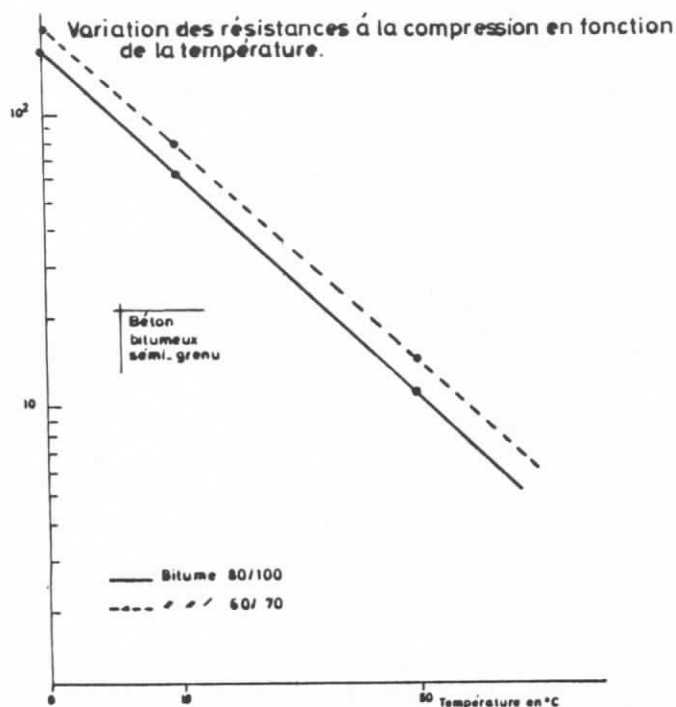


Fig4

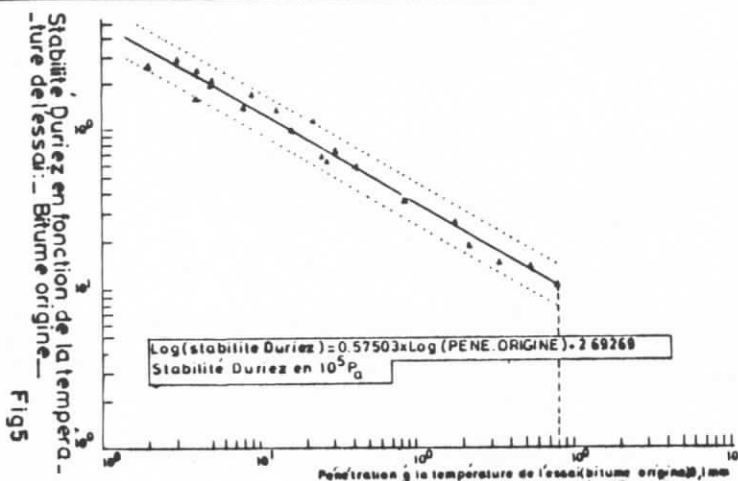


Fig5

On a calculé une "résistance Marshall " par la formule suivante :

$$\text{"résistance Marshall" (en Pa)} = \frac{\text{stabilité Marshall (en N)}}{\text{avec surface de l'éprouvette } (10 \times 6,35 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

La figure 6 montre la stabilité Duriez et la résistance Marshall en fonction de la pénétration du bitume d'origine dans les conditions de l'essai.

L'ensemble des points se situe sur une courbe maîtresse dont l'équation polynomiale est :

$$\log (\text{stabilité en pa}) = 2,606 - 0,372 \times X - 0,132 \times X^2 + 0,031 \times X^3.$$

avec : $X = \log (\text{Pen origine})$

.coefficient de corrélation $R = 0,986$

.Ecart type $E = 0,075$

On remarque sur cette figure une tendance à une décomposition de la courbe en deux parties au niveau des pénétrations 800.

Cette courbe permet donc à partir des caractéristiques du bitume et de la température de l'essai, de trouver la stabilité Duriez et la stabilité Marshall avec une bonne précision pour une composition d'enrobé similaire.

V - DISPERSION DES RESULTATS :

A - Quelques définitions :

La fidélité est l'étroitesse de l'accord entre les valeurs expérimentales obtenues au cours d'un ensemble d'expériences faites dans des conditions déterminées.

La répétabilité est la fidélité dans le cas d'opérateurs travaillant dans un laboratoire donné et obtenant des résultats successifs avec la même méthode sur un produit identique soumis à l'essai.

La reproductibilité est la fidélité dans le cas d'opérateurs travaillant dans des laboratoires différents, ou dans le même laboratoire, mais des époques différentes, chacun d'eux obtenant avec la même méthode des résultats individuels sur un produits identique soumis à l'essai.

B - Dispersion des essais Duriez et Marshall:

La principale étude concernant la dispersion de l'essai Duriez a été réalisée entre 1964 par le LCPC en contact avec 24 autres laboratoires. Elle avait pour but de mettre en évidence l'effet de points particuliers importants sur le mode opératoire, et de réduire la dispersion des résultats.

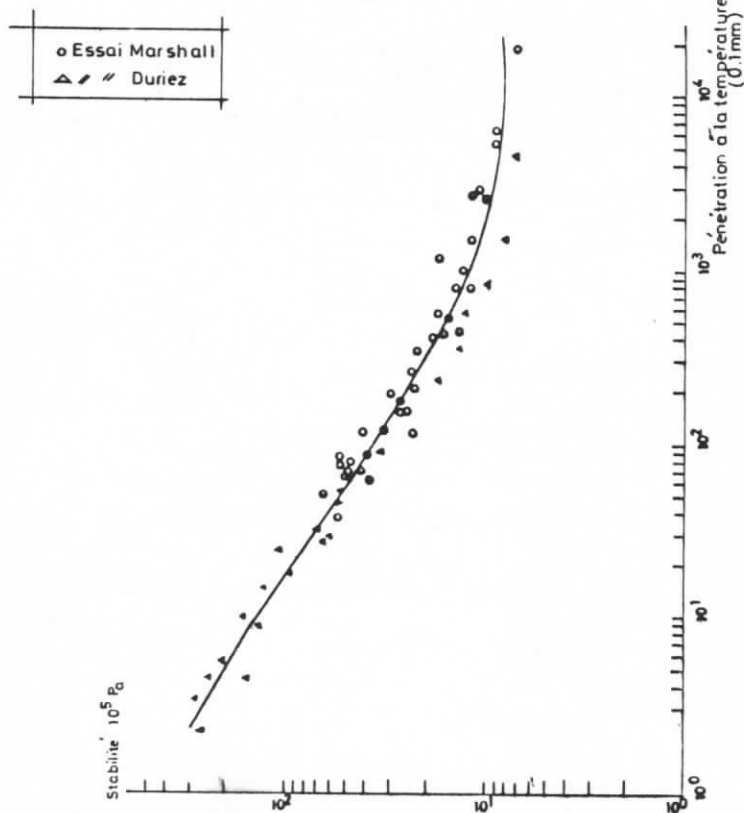


Fig6 Stabilité Duriez et stabilité modifiée Marshall en fonction de la pénétration à la température de l'essai. — Bitume origine. —

Les paramètres étudiés étaient les suivants :

<u>PARAMETRE.</u>	<u>1ère MODALITE</u>	<u>2ème MODALITE</u>
Malaxage	Manuel	Mécanique
.remplissage du moule	.en 1 seule fois	.en plusieurs fois
.compactage	.à double effet	.à simple effet
.refroidissement du moule	.à l'eau	.à l'air
.conservation "à sec"	.degré hygrométrique 50%	.degré hydrométrique 50%
.dégazage avant la conservation	.par pompe à moteur	.par pompe à eau
"à l'immersion"	.	au
.dégazage avant la conservation "à l'immersion"	. 35 - 50 mm de Hg	. 350 mm de Hg
valeur de la pression	.	.
résiduelle	.	.
.Presse d'écrasement	. type ANGERS	. Type C.B.R

A la suite, il a paru souhaitable de :

- généraliser le malaxage mécanique
- généraliser le compactage à double effet.
- généraliser le refroidissement du moule à l'air.
- fixer le degré hygrométrique à 50% pour la conservation à sec.
- adopter la pression résiduelle de 350mm de Hg pour le dégazage.

Une autre étude a été effectuée au centre de Recherche de Grand Couronne.

La composition essayée est un béton bitumineux 0/10 semi grenu
qui a pour formule :

6/10 LA NOUBLEAU	30% EN POIDS
4/6 "	20% "
2/4 "	12% "
0/2 "	30% "
FILLER	8% "
BITUME 60/70	6% PPC

Huit séries d'éprouvettes ont été faites par huit opérateurs différents. Chaque série était composée de 4 éprouvettes Marshall et de 4 éprouvettes Duriez; les matériaux ont été enrobés en respectant les consignes suivantes :

- température d'enrobage : 150°C
- température de début de compactage: 135 °C
- malaxage manuel, éprouvette après éprouvette, jusqu'à enrobage complet de tous les granulats.
- compactage Marshall au moyen d'une dame automatique M et O (modèle 1972).
- compactage Duriez avec une pression de compaction de 120 10E + 5 Pa ,cette pression est maintenue jusqu'à ce qu'elle se stabilise (pendant environ 5mn.

Plusieurs valeurs de densité apparente ont été calculées pour chaque éprouvette suivant la méthode utilisée pour estimer le volume de ces éprouvettes :

- à partir des dimensions mesurées au pied à coulisse,
- à partir des poids dans l'air et dans l'eau (méthode hydrostatique).
- soit que l'enrobé ait été pesé tel quel dans l'air, dans l'eau (après 5mn d'immersion) puis à nouveau dans l'air (après séchage superficiel).
- soit que l'enrobé ait été posé tel quel dans l'air, puis, après paraffinage à nouveau dans l'air et dans l'eau.

Les éprouvettes ont ensuite été écrasées selon le mode opératoire classique.

Les valeurs des densités apparentes calculées :

a) à partir des cotes, sont plus disposées que celles obtenues à partir des mesures hydrostatiques, ceci est particulièrement vrai pour le compactage Marshall (écarts types respectifs de 0,034 et de 0,018).

b) à partir des deux types de mesures hydrostatiques, sont équivalentes à ce niveau de compacité.

L'examen du tableau n°4 et des figures 7 et 8 montre que les résultats obtenus avec l'essai Duriez sont légèrement moins dispersés que ceux obtenus avec l'essai Marshall.

On peut chiffrer la reproductibilité de l'essai Duriez (résistance à l'écrasement) à environ 17% et celle du Marshall à

ETUDE STATISTIQUE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

ESSAI MARSHALL

TABLEAU N° 4

	MOYENNE	ECART TYPE
Densité apparente-par les côtés	2,309	0,34
-hydrostatique	2,353	0,018
-hydrostatique		
avec paraffinage	2,354	0,080
Vides de l'enrobé-par les côtés	10,8	1,4
-hydrostatique	9,1	0,8
Vides des granulats-hydrostatique	22,2	0,6
Vides comblés par le bitume hydrostatique	58,8	2,0
Résistance à 60°C N	6530	650
Fluage à 60 °c mm	2,89	0,38
Résistance/fluage à 60°C N/mm ²	2220	320

ESSAI DURIEZ

	MOYENNE	ECART TYPE
Densité apparente-par les côtés	2,279	0,017
-hydrostatique	2,337	0,013
-hydrostatique		
avec paraffinage	2,340	0,010
Vides de l'enrobé-par les côtés	12,0	0,8
-hydrostatique	9,5	0,6
Vides des granulats-hydrostatique	22,8	0,4
Vides comblés par le bitume hydrostatique	57,5	1,4
Résistance à 18°C 10E+ 5pa	62,3	4,7

Fig 7

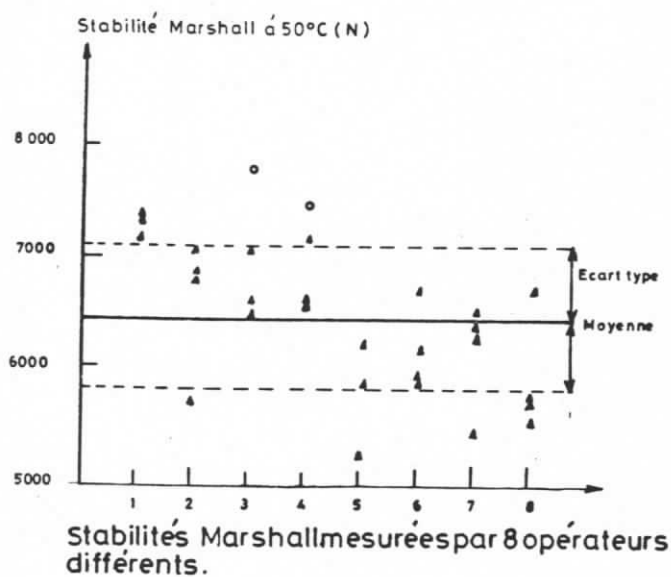
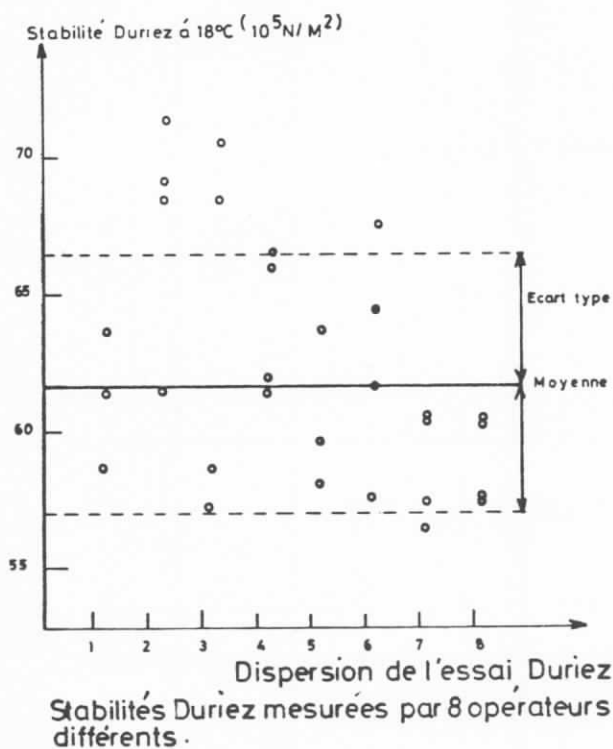


Fig 8



40% (écart entre les valeurs moyennes des deux opérateurs les plus écartés ramené à la valeur moyenne générale).

VI - REMARQUES SUR LA VALIDITE DES ESSAIS :

A - Evolution de la validité des essais classiques au cours du temps :

Les essais Duriez, Marshall et Hubbard-Field ont été développés pour répondre aux préoccupations des ingénieurs routiers d'une époque et leur permettre de mettre au point des enrobés convenables pour cette époque.

Depuis, non seulement les formules ont changé : forme des granulats, courbes granulométriques, teneurs en liant, dureté des liants, mais encore les conditions de fabrication et de mise en oeuvre (compactage) et surtout les sollicitations (trafic des poids lourds).

L'essai Marshall avait été mis au point aux U.S.A. essentiellement pour déterminer la teneur en liant optimale d'une formule. Le liant par excellence était le 80/100, dont la température de ramollissement bille et anneau est nettement plus basse que 60°C. Pratiquer des essais Marshall avec des liants de plus en plus durs conduit à faire de moins en moins de discrimination entre les formules car la sensibilité de l'essai à la teneur en liant dépend fortement de la consistance du bitume.

Une autre extension demandée à cet essai a été de lui demander d'aider à découvrir des formules résistant à l'orniérage comme il n'avait absolument pas été prévu de répondre à ce genre de problème, le résultat est plutôt mauvais (voir figure n°9) et on aurait tort d'utiliser cet argument pour écarter cet essai.

L'essai Duriez permet de déterminer la compacité à obtenir sur un chantier. Actuellement on peut réaliser en place des compacités supérieures à celle du Duriez à cause des supports plus rigides et des compacteurs lourds. Si on se contente aussi de la valeur de la résistance à l'écrasement obtenue à 18°C, de deux liants ayant la même pénétration de référence à 25°C, mais ayant des susceptibilités thermiques différentes, on choisira le plus susceptible parce qu'il donnera la meilleure résistance à 18°C. Dans ce cas précis, des mesures effectuées à différentes températures (0°C ou 50°C) seraient utiles.

Les essais de formulation classique avaient pour but d'obtenir un niveau de performance minimal. Cette valeur de "garde fous" des essais classiques perd une partie de sa signification quand, par suite de l'évolution des techniques, les conditions de mise en oeuvre et les formules utilisées s'éloignent de celles qui prévalaient au moment de la création de l'essai.

B - Essais classiques et sollicitations routières :

Un des buts des essais classiques était d'aider l'ingénieur .

Corrélation entre les résultats de l'essai Marshall et la profondeur d'ornièrè constatée sur chaussée expérimentale(3)

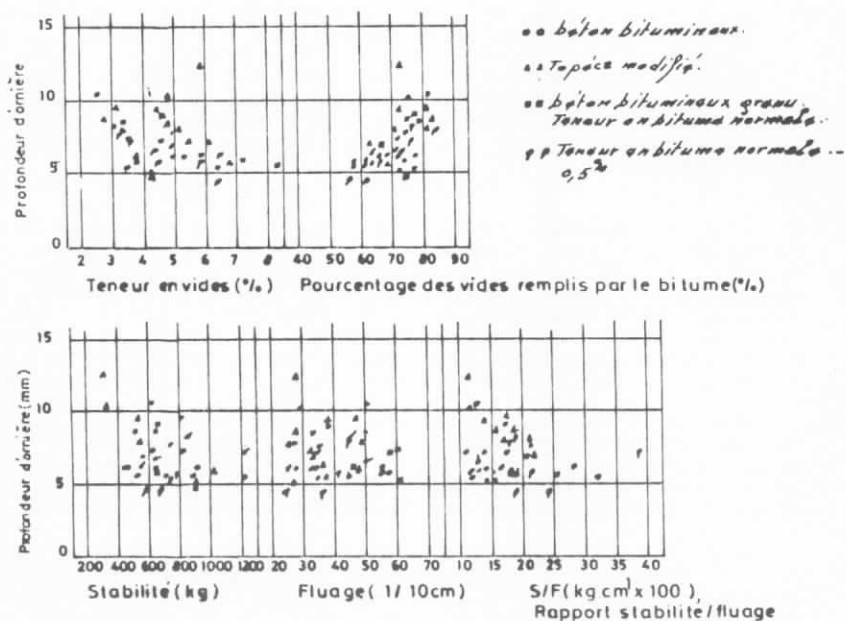


fig9: Source: rapport O.C.D.E. résistance à la déformation plastique des chaussées souples: (mai 1975)

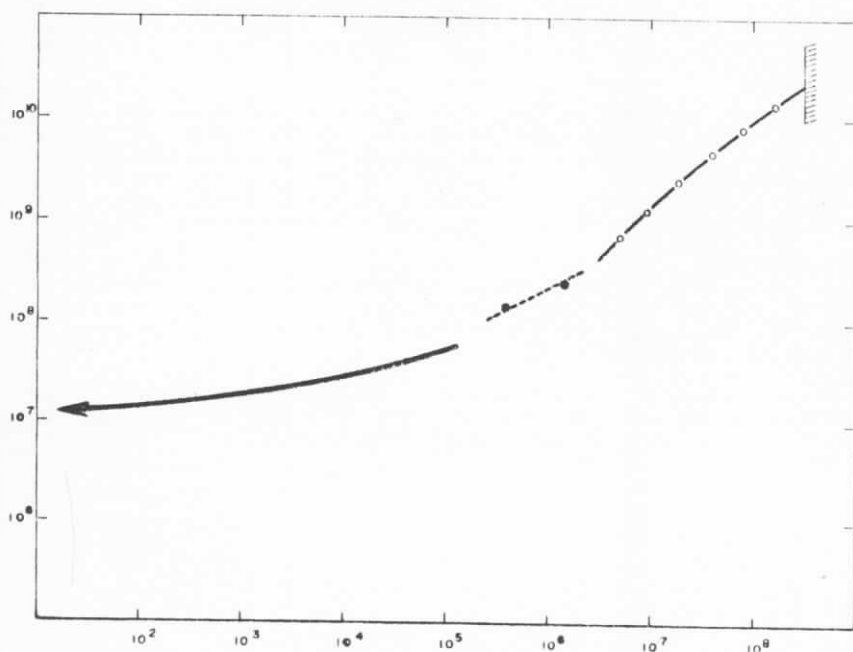
à calculer des structures de chaussées. Mais les conditions de préparation des éprouvettes d'une part (compactage statique ou martelage), et les conditions de sollicitations (essais à la rupture, vitesse de déformation constante, température, temps de charge) d'autre part ne sont guère représentatives de celles de la route.

Parmi les nombreux paramètres nécessaires au calcul rationnel des structures de chaussée figure le modèle. Pour un enrobé donné, une façon commode de représenter les variations de ce module est donné sur la figure 10, en fonction du module qui intègre le temps (durée de sollicitation), la température et le type de bitume et peut être calculé par l'abaque de VAN DER POEL.

Dans cette représentation, les essais classiques se situent entre les essais à court temps de charge (module relativement élevé : domaine élastique : dimensionnement), et les essais à long temps de charge (module faible : domaine visco-élastique : déformation permanente et fluage).

Ils permettent donc d'avoir une vision moyenne des performances de l'enrobé sans donner de renseignement sur le domaine élastique ou sur leur comportement en déformation permanente.

Module de Rigidité de l'Enrobe Bitumineux S_M (Pa)



Module de Rigidité du Bitume S_B (Pa)



Courbe suivie au cours d'un essai
de fluage en compression simple



Resistance / Deformation à la rupture en compression simple
Essais "DURIEZ" à vitesse de déformation imposée



Modules mesurés au cours d'expériences
de vibrations en flexion alternée



Fig. 10

COURBES MAITRESSES D'UN ENROBE BITUMINEUX
ETABLIES AU MOYEN DE DIFFERENTS ESSAIS