

54. REVÊTEMENTS EN BÉTON HYDROCARBONÉ

- 54.07 DETERMINATION DE LA GRANULARITE DES ELEMENTS MINERAUX DES MELANGES HYDROCARBONES. - EN REVISION**
- 54.08 COMPACITE RELATIVE D'UN REVETEMENT HYDROCARBONE** (version 06/2012)
- ~~**54.12 DETERMINATION DE LA TENEUR EN LIANT SOLUBLE DES GRANULATS PREENROBES.**~~
- 54.13 ESSAI AU SIMULATEUR DE TRAFIC (ESSAI D'ORNIERAGE SUR REVETEMENTS HYDROCARBONES A PARTIR DE CAROTTES DE 400 CM²). - EN REVISION**
- 54.16 ESSAI MARSHALL - ETUDE MARSHALL - EN REVISION**
- 54.17 DETERMINATION DE LA DRAINABILITE IN SITU D'ENROBES DRAINANTS** (version 06/2012)
- 54.18 ESSAI AU SIMULATEUR DE TRAFIC (ESSAI D'ORNIERAGE SUR REVETEMENTS HYDROCARBONES A PARTIR DE MELANGES FABRIQUES EN LABORATOIRE). - EN REVISION**
- 54.25 MESURE EN CONTINU DE L'ORNIERAGE**
- 54.26 PORTANCE (DEFLEXION DU REVETEMENT AU PASSAGE D'UN ESSIEU)** (version 06/2012)
- 54.27 PRELEVEMENT DES MELANGES HYDROCARBONES** (version 06/2012)
- 54.28 PREPARATION DES MELANGES HYDROCARBONES** (version 06/2012)
- ~~**54.31 PRELEVEMENT DU RBCF - EN REVISION**~~
- 54.32 CAPACITE DE DURCISSEMENT (ENROBES STOCKABLES).**
- 54.33 SENSIBILITE AU GEL (ENROBES STOCKABLES).**
- 54.34 DRAINABILITE (ENROBES DRAINANT DECORMATE).**
- 54.35 RESISTANCE AU DESENROBAGE (ENROBES STOCKABLES).**
- 54.36 STABILITE (ENROBES STOCKABLES).**
- 54.37 DELTA ANNEAU ET BILLE D'UN MASTIC BITUMINEUX**
- 54.39 COMPACTAGE GIRATOIRE - NOUVEAU**
- 54.40 SENSIBILITE A L'EAU - NOUVEAU**

- 54.41 COULEUR DE L'ENROBE COLORE - NOUVEAU**
- 54.42 AGREGAT D'ENROBES BITUMINEUX: % DE
GOUDRON - NOUVEAU**
- 54.43 DETERMINATION DU POURCENTAGE DE VIDES
D'UN REVETEMENT HYDROCARBONE (SCORIES) -
NOUVEAU**

54.07 DETERMINATION DE LA GRANULARITE DES ELEMENTS MINERAUX DES MELANGES HYDROCARBONES- EN REVISION

1. BUT DE L'ESSAI

Déterminer la granularité des éléments minéraux enrobés.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Après désenrobage des éléments minéraux, et autres insolubles, ceux-ci sont passés sur une série de tamis à ouvertures décroissantes.

3. APPAREILLAGE

- série de tamis contrôlés;
- balance permettant de peser la masse d'échantillon à 0,01 % près de celle-ci;
- étuve réglée à (110 ± 5) °C.

4. MODE OPERATOIRE

4.1. Le liant a été extrait par centrifugation.

Après les opérations de dissolution et d'extraction du liant contenu dans l'enrobé hydrocarboné décrites dans le mode opératoire CME 54.06, le granulat total (masse M_8) est constitué d'une part, par les granulats recueillis sur les tamis de l'entonnoir d'alimentation de la centrifugeuse [masse ($M_5 - M_3$) et ($M_6 - M_4$)] et, d'autre part, par la majeure partie du filler de l'enrobé ayant traversé le tamis inférieur à ouverture de maille de 0,063 mm [masse ($M_7 - M_2$)]

Le granulat sec désenrobé (masse M_8) est directement tamisé sur les tamis prescrits placés par ordre décroissant d'ouverture de maille jusque et y compris le tamis à ouverture de maille de 0,063 mm.

L'usage d'un secoueur mécanique facilite l'opération, mais il faut obligatoirement terminer le tamisage à la main, pour chaque tamis. On pèse cumulativement, à 0,01 % près de la masse M_8 , les refus sur les tamis successifs; soit : $R_1, R_2, \dots R_n$ les masses cumulées sur les différents tamis.

On pèse également la petite quantité de filler passée à travers le tamis de 0,063 mm à 0,1 g près (masse M_9).

4.2. Le liant a été extrait par l'appareil de Soxhlet.

Après les opérations d'extraction du liant contenu dans l'enrobé hydrocarboné décrites dans le mode opératoire CME 54.05, les éléments minéraux récupérés de la cartouche en papier-filtre sont pesés à 0,1 g près [(masse (C - A))] et lavés sous eau et à l'aide d'un agent mouillant sur un tamis à ouverture de maille de 0,063 mm.

On considère que le lavage est terminé lorsque la solution s'écoulant du tamis est parfaitement claire. Le refus sur ce tamis est séché à l'étuve à (110 ± 5) °C, jusqu'à masse constante à 0,1 g près (masse E), puis tamisé sur les tamis prescrits placés par ordre décroissant d'ouverture de mailles jusque et y compris le tamis à ouverture de maille de 0,063 mm.

L'usage d'un secoueur mécanique facilite l'opération, mais il faut obligatoirement terminer le tamisage à la main, pour chaque tamis. On pèse cumulativement, à 0,01 %

près de la masse (C - A), les refus sur les tamis successifs; soit: R_1, R_2, \dots, R_n , les masses cumulées sur les différents tamis.

On pèse également la petite quantité de filler passée à travers le tamis de 0,063 mm à 0,1 g près (masse F).

5. CALCULS ET EXPRESSION DU RESULTAT

5.1. Granulats provenant de l'extraction par centrifugation.

5.1.1. Teneur en filler

La teneur en filler (f), rapportée à la masse du granulats (filler, fibres, ... compris) non enrobé, exprimée en pour cent avec une décimale, se calcule par la formule :

$$f (\%) = \frac{(M_7 - M_2 + M_9)}{M_8} \cdot 100$$

où:

M_2 = la tare des deux godets de centrifugeuse (g);

M_7 = la masse des deux godets contenant le filler après la centrifugation (g);

M_8 = la masse totale des matières inertes (granulats + filler) déterminée selon la Méthode d'essai «54.06» (g);

M_9 = la fraction passant à travers le tamis de 0,063 mm lors du tamisage final (g).

5.1.2. Analyse granulométrique

Les refus cumulés sur les différents tamis sont exprimés en pour cent en masse du granulats (fibres, filler, ... compris) non enrobé, avec une décimale et se calculent par la formule:

$$G_i = \frac{R_i}{M_8} \cdot 100$$

où:

i = le numéro d'ordre du tamis, sa valeur allant de 1 à n et le tamis de plus grande ouverture de maille portant le n° 1;

G_i = le refus cumulé en % jusqu'au tamis i;

R_i = le refus cumulé en masse (g) jusqu'au tamis i;

M_8 = la masse totale des matières inertes (granulats + filler) (g).

5.2. Granulats provenant de l'extraction par l'appareil de Soxhlet.

5.2.1. Teneur en filler

La teneur en filler, rapportée à la masse des matières inertes (granulats + filler) non enrobé, exprimée en pour cent avec une décimale, se calcule par la formule:

$$f (\%) = \frac{(C - A) - E + F}{(C - A)} \cdot 100$$

où:

(C - A) = la masse des matières inertes (granulats + filler) après extraction du liant (g);

E = la masse des granulats (pierre et sable) après élimination du filler (g);
F = la fraction passant éventuellement à travers le tamis à ouverture de maille de 0,063 mm lors du tamisage final (g).

5.2.2. Analyse granulométrique.

Le calcul et l'expression du résultat sont les mêmes qu'au § 5.1.2. ci-dessus; toutefois, la formule devient:

$$G_i = \frac{R_i}{C - A} \cdot 100$$

où:

(C - A) = la masse totale des matières inertes (granulat + filler) après extraction du liant (g) et remplace M_8 qui a la même signification.

54.08 COMPACITE RELATIVE D'UN REVETEMENT HYDROCARBONE (version 06/2012)

1. BUT DE L'ESSAI

Déterminer le degré de compaction d'un mélange hydrocarboné prélevé in situ par rapport à un compactage normalisé.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

La méthode consiste en plusieurs étapes distinctes:

- Préparation de l'éprouvette;
- Détermination de la masse volumique apparente de l'éprouvette;
- Désagrégation de l'éprouvette;
- Recomposition du mélange à l'énergie normalisée (compactage "Marshall");
- Détermination de la masse volumique apparente de l'éprouvette ainsi obtenue (masse volumique de référence);
- Calcul de la compacité relative.

3. REFERENCES NORMATIVE

- NBN EN 12697-6: Détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses
- NBN EN 12697-29: Détermination des dimensions des éprouvettes d'enrobé hydrocarboné
- NBN EN 12697-30: Confection d'éprouvette par compacteur à impacts

4. APPAREILLAGE

- Scie diamantée;
- Rectifieuse diamantée;
- Balance précise à 0,1g avec un système de pesée sous eau;
- Bain thermostaté (précis à $\pm 1^{\circ}\text{C}$);
- Etuve réglable à $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- Etuve capable d'atteindre une température de $180 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- Thermomètre précis à $\pm 1^{\circ}\text{C}$;
- Pied à coulisse ou autre appareillage précis à 0,1 mm permettant de déterminer les dimensions suivant NBN EN 12697-29;
- Peau de chamois;
- Compacteur à impact suivant NBN EN 12697-30 avec ses moules de compactage;
- Plaques chauffantes pour réchauffer la dame

5. MODE OPERATOIRE

5.1. Préparation de l'éprouvette.

Les essais devront être réalisés sur des échantillons prélevés de 150mm de diamètre.

Les éprouvettes d'épaisseur nominale $<$ à 30mm ne peuvent être analysées.

Pour un enrobé posé en épaisseur nominale de 30mm, les éprouvettes devront être préparées (*rectification, sciage*) de manière à ce que l'échantillon soumis à l'essai présente une épaisseur minimale de 25mm.

Il y a lieu de prévoir une quantité suffisante de mélange hydrocarboné afin de confectionner une éprouvette recomposée d'une hauteur comprise entre 5 et 7 cm.

5.1.1. Couche de roulement

Dans le cas où la carotte comporte un traitement de surface, celui-ci est éliminé par sciage d'une tranche la plus mince possible.

Sans traitement de surface, seule la couche inférieure est sciée.

5.1.2. Sous-couche

Dans le cas d'une sous-couche, les 2 faces sont traitées à l'aide d'une scie ou d'une rectifieuse, de manière à obtenir un cylindre.

5.2. Détermination de la masse volumique apparente de l'éprouvette (méthode B de NBN EN 12697-6)

Toutes les masses sont exprimées à 0,1g près

- Après préparation des échantillons, laisser sécher celui-ci à température ambiante jusqu'à poids constant¹ puis déterminer la masse sèche de l'éprouvette (m_1)
- Vérifier la température du bain thermostaté, régler l'agitateur sur la t° mesurée puis déterminer la Masse volumique de l'eau (ρ_w) correspondante suivant le tableau ci-dessous:

T° (°C)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
ρ_w (kg/m ³)	999,2	999,0	998,8	998,7	998,5	998,3	998,1	997,8	997,6	997,4	997,1	996,8	996,6

- Plonger l'éprouvette dans le bain pendant **minimum 30min**
- Déterminer la masse sous eau (m_2) en s'assurant qu'aucune bulle d'air n'adhère ni ne s'échappe de l'éprouvette;
- Retirer l'éprouvette de l'eau;
- Essuyer sa surface à l'aide d'une peau de chamois humide et déterminer la masse dans l'air de l'éprouvette saturée (m_3).

5.3. Désagrégation de l'éprouvette

Placer l'échantillon dans une étuve portée à maximum 125°C pendant max 120min.

Dans le même temps, placer les moules dans l'étuve.

Désagréger l'éprouvette en fragments fins et transférer dans un récipient pouvant être couvert.

¹ Deux pesées espacées de 6h ne varie pas de plus de 0,1% en masse

5.4. Recompaction à l'énergie "Marshall"

- La température de consigne doit être sélectionnée de telle sorte que le mélange ait pu refroidir à la température de référence dès le début du compactage. Dès lors, la température de consigne de l'étuve peut être de maximum 20°C supérieure à la température de référence.
- La température de référence est fonction du type de bitume (voir tableau ci-dessous)

Type de bitume	X = 1		X = 2	X = 7	X = 8	X = 9	X = 11
	35/50	50/70	PMB	IP+	Dur	Routier + additifs naturels	Routier + additifs synthétiques
Température de référence (°C)	165	150	170	165	165	160	Suivant fiche technique du producteur (fonction du type d'additif)

x = 1 désigne un bitume routier 35/50 ou 50/70

x = 2 désigne un bitume polymère (élastomère)

x = 7 désigne un bitume à indice de pénétration positif

x = 8 désigne un bitume dur

x = 9 désigne au bitume routier 50/70 additionné d'asphalte naturel

x = 11 désigne un liant avec additif(s)

Remarque:

Pour tout autre type de liant autorisé par un cahier spécial des charges, il faut se référer à la fiche technique du producteur.

- Placer les récipients couverts dans l'étuve jusqu'à ce que le mélange atteigne la T° de compactage (max 120min)
- Environ 10min avant la compaction du premier échantillon, chauffer le pied de la dame;
- Placer un disque antiadhésif dans le fond du moule complet;
- Introduire le mélange dans le moule à l'aide d'un entonnoir;
- Nivelier délicatement la surface de l'échantillon et recouvrir l'ensemble d'un disque antiadhésif;
- Dans les plus bref délais, compacter l'échantillon en appliquant 50 coups;
- Retourner le corps du moule et appliquer à nouveau 50 coups;
- Le moule doit être rempli et l'éprouvette compactée en moins de 4 min
- Retirer les disques antiadhésifs et marquer l'éprouvette pour identification.
- Après cette opération, laisser refroidir les échantillons puis extraire les éprouvettes de leurs moules à l'aide du dispositif d'extrusion adapté.
- Après démoulage, procéder à la détermination de l'épaisseur des éprouvettes suivant NBN EN 12697-29 (0,1mm près) comme suit:

Epaisseur

Tracer 2 diamètres perpendiculaires sur une face de la carotte

A l'aide d'un pied à coulisse, mesurer l'épaisseur en 4 points à 1 cm du bord, sur ces diamètres ;

5.5. Détermination de la masse volumique de référence

- Procéder à la pesée sèche;
- Déterminer la masse volumique apparente des éprouvettes recompressées en répétant le mode opératoire défini au § 5.2.

6. CALCUL ET EXPRESSION DES RESULTATS

6.1. Détermination de la masse volumique apparente de l'éprouvette

Toutes les masses sont exprimées à 0,1g près

$$\rho_b = m_1 \times \rho_w / (m_3 - m_2)$$

avec:

ρ_b = masse volumique apparente à 1 kg/m³ près

ρ_w = masse volumique de l'eau en kg/m³ (fonction de la T°, cfr tableau 5.2)

m_1 = masse sèche de l'éprouvette

m_2 = masse sous eau de l'éprouvette

m_3 = masse saturée surface sèche de l'éprouvette

6.2. Recompression à l'énergie "Marshall"

Epaisseur :

Moyenne des 4 déterminations à 0,1 mm près

6.3. Détermination de la masse volumique de référence

Toutes les masses sont exprimées à 0,1g près

$$\rho_r = m_{1r} \times \rho_w / (m_{3r} - m_{2r})$$

avec:

ρ_r = masse volumique apparente à 1 kg/m³ près

ρ_w = masse volumique de l'eau en kg/m³ (fonction de la T°, cfr tableau 5.2)

m_{1r} = masse sèche de l'éprouvette recompressée

m_{2r} = masse sous eau de l'éprouvette recompressée

m_{3r} = masse saturée surface sèche de l'éprouvette recompressée

6.4. Détermination de la compacité relative (degré de compaction)

$$C_r = 100 \times \rho_b / \rho_r$$

avec:

C_r = degré de compaction à 0,1% près,

ρ_b = Masse volumique apparente en kg/m³

ρ_r = Masse volumique de référence en kg/m³

7. RAPPORT D'ESSAI

7.1. Rédaction du rapport d'essai

Le rapport d'essai doit au moins mentionner les informations suivantes:

- La masse sèche de l'éprouvette analysée;
- Les différentes masses volumiques exprimées au kg /m³ près;
- L'épaisseur de l'éprouvette recompactée à 0,1mm près;
- La température de compactage;
- Le type de compacteur utilisé;
- La compacité relative exprimée à 0,1% près;

7.2. Exemple de formulaire de rapport

Dossier :		Couche :			Type de béton hydrocarboné :			
Carotte n° :	Epaisseur moyenne par couche	Examen visuel avant sciage	Masse après sciage	M.V.A.	Eprouvette recompactée		C.R.	Code pour l'examen visuel
	(mm)				épaisseur	M.V.Réf.		
			(g)	kg/m ³	(mm)	(kg/m ³)	%	
								1. Fermé
								2. Semi-fermé
								3. Ouvert
								4. Ebréché
								5. Fissuré
								6. Désagrégé
								7. Vides ponctuels
								8. Carotte séparée à l'interface entre 2 couches
								9. Observations supplémentaires
Moyenne:								

54.13 ESSAI AU SIMULATEUR DE TRAFIC (ESSAI D'ORNIERAGE SUR REVETEMENTS HYDROCARBONES A PARTIR DE CAROTTES DE 400 cm²)- EN REVISION

1. BUT DE L'ESSAI

Estimer, dans des conditions expérimentales données, la susceptibilité à l'orniérage d'un mélange hydrocarboné à partir d'un échantillon prélevé in situ par carottage.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

La surface d'une éprouvette de mélange hydrocarboné de forme parallélépipédique est soumise à l'action d'une charge de roue décrivant un mouvement aller-retour rectiligne, à une fréquence donnée et à une température constante.

On considère comme profondeur d'ornière, en un point de la surface de l'éprouvette, sa dénivellation verticale permanente par rapport aux lèvres de l'ornière.

3. APPAREILLAGE ET PRODUITS

- Une foreuse à eau permettant de prélever des carottes de 400 cm² de section;
- Une scie à disque diamanté de 60 cm de diamètre
- Un simulateur de trafic qui peut simuler une répétition de passages d'une roue dans des conditions d'une circulation canalisée. Il est équipé de 2 roues solidaires d'un chariot qui permettent de tester simultanément 2 éprouvettes. (Voir figure 54.13/1)

Les principales caractéristiques sont:

- Longueur de la course: (500 ± 5) mm
- Equation du mouvement (à l'incidence de la biellette près:)
$$x = 0,25 \sin \omega t$$

(ω = fréquence angulaire)
(t = temps)

0 Vitesse maximum : 1,6 m/s
Accélération maximum : 10 m/s²
Fréquence du mouvement : 1 Hz

- Plaque de support de l'éprouvette montée sur appuis simples
- Thermostatation par une circulation d'air chaud, permettant de maintenir une température constante à ± 2°C dans l'éprouvette.
- Force appliquée sur chaque éprouvette de 0 à 5 kN avec réglage indépendant de la force.
- Pneus lisses: 16 X 4 ER
- pneumatique sans sculpture 400 x 8
- largeur de trace (8 ± 0,5)cm
- Pression gonflage : (6 ± 0 ,1) bar
- Dispositif d'enregistrement de la température de l'éprouvette pendant l'essai.
- Moules en métal dont les dimensions intérieures de la cavité sont:
 - longueur de (500 ± 1) mm
 - largeur de (180 ± 1) mm
 - hauteur de (30,40, 50, 60, 80 ou 100) mm à ±1 mm

Ils doivent être non déformables dans les conditions de l'essai.(Voir annexe 54.13/4)

- Plaque de base en acier dont la planéité est contrôlée.
La flèche n'excède pas 1 mm dans les conditions normales de l'essai.

- Un dispositif de mesure constitué:
- d'une plaque d'aluminium comportant 121 trous ,dans lesquels, peut être introduit un comparateur (Voir figures 54.13/2 et54.13/3), 117 de ces trous servent à la mesure et sont partagés en 9 profils en travers (1 à 9) et 13 profils en long (A à M). Les 4 trous restants sont destinés au positionnement du dispositif, placement qui est obtenu à l'aide d'un micromètre et de 4 vis de réglage
- Un comparateur au 1/100 mm près.
- Du mortier de ciment ou du plâtre et les outils de mise en œuvre.

4. MODE OPERATOIRE

4.1. Préparation de l'éprouvette.

L'essai peut être réalisé soit couche par couche, soit sur une épaisseur de maximum 10 cm de revêtement.

Trois carottes de 400 cm² de section sont nécessaires pour la réalisation d'une éprouvette.

Après sciage des carottes à l'épaisseur désirée, celles-ci sont découpées de manière à pouvoir être disposées dans le moule (voir annexe 54.13/5).

Dans un moule dont la profondeur est supérieure à l'épaisseur de l'enrobé testé, sans sa plaque de base, posé à l'envers, sur une surface plane, on dispose les trois éléments retournés. Les côtés et le dessous de l'éprouvette peuvent alors être scellés au mortier de ciment ou au plâtre de Paris qui est arasé par rapport au bord du moule.

Après durcissement (3 jours minimum pour le scellement au ciment et un jour minimum pour le scellement au plâtre), le moule est monté sur sa plaque de base.

4.2. Mesurage de l'éprouvette (point zéro).

On relève l'état de surface de l'éprouvette au moyen du dispositif de mesure décrit au § 3. Pour ce faire, il suffit de placer le dispositif sur le moule, de le positionner au moyen des vis micrométriques, et de mesurer ensuite les points de positionnement avec le comparateur dans les 4 trous situés dans les 4 coins du dispositif de mesure.

Déterminer la hauteur avec le comparateur aux différents points de mesure (91 points de mesure suivant la méthode A de la figure 54.13/6-1).

Les différences de lecture avant et après l'essai permettent d'apprécier les dénivellations subies par les différents points

4.3. Réalisation de l'essai.

- Placer l'éprouvette mesurée dans le simulateur.
- Attendre la stabilisation de la température à $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$. La température est mesurée à l'aide d'une sonde placée dans l'éprouvette à 30 mm de profondeur et à (60 ± 5) mm de l'axe longitudinal.
- Fixer la pression (charge sur la roue) à $(5,00 \pm 0,05)$ kN.
- Mettre le simulateur en fonction.
- Mesurer la hauteur de l'éprouvette suivant même procédé que celui décrit au § 4.2 et cela après 10.000 - 20.000 - 30.000 - 50.000 -70.000 - 100.000 cycles. (Utiliser les vis micrométriques pour positionner la plaque de base par rapport au moule tel qu'au point zéro).
- L'essai est terminé soit après les 100.000 cycles soit lorsque la profondeur d'orniérage est supérieure à 20 mm (sécurité). L'essai est normalement réalisé en cinq jours ouvrables.

Normalement un essai est constitué de 2 tests exécutés sur le même produit et dans les mêmes conditions.

5. CALCULS

Méthode de calcul (carottes) C (Voir figure 54.13/6-2)

Pour éliminer la plus grande partie des effets de bords, seuls les profils en travers 2 à 8 et les profils en longueur E à I sont pris en considération.

L'indice indiquant:

- le profil en longueur est j (j = 1 à 13 correspondant aux valeurs A à M)
- le profil en travers est i (i = 1 à 9)
- le nombre de 10^4 cycles est n (n = 0, 1, 2, 3, 5, 7 et 10)

On calcule d'abord le déplacement vertical de chaque point :

$$Y_{i,j,n} = X_{i,j,n} - X_{i,j,0} \quad (1)$$

Pour chaque profil en travers, on détermine ensuite la tangente commune aux deux lèvres de l'ornièrre (j = 1 à 4 et 10 à 13)

$$f(i,n) = Y_{i,k,n} + \frac{(Y_{i,l,n} - Y_{i,k,n})}{1-k} (7-k) \quad (2)$$

Pour k = 1 à 4

l = 10 à 13

i et n constants

Soient k' et l', le couple de valeurs de k et l rendant l'équation (2) maximale.

On détermine ensuite les valeurs.

$$Z_{i,j,n} = Y_{i,k',n} + \frac{(Y_{i,l',n} - Y_{i,k',n})}{l'-k'} (j-k') - Y_{i,j,n}$$

Pour j = 5, 6, 7, 8 et 9

i constant

Lorsqu'on est en possession de toutes les valeurs de $Z_{i,j,n}$, on calcule les valeurs suivantes

a. la valeur moyenne:

$$\bar{e}_{i,n} = \frac{1}{5} \sum_{j=5}^{j=9} Z_{i,j,n}$$

Pour i = 2 à 8

n = 1, 2, 3, 5, 7 et 10

b. la valeur moyenne:

$$\bar{e}_n = \frac{1}{7} \sum_{i=2}^{i=8} \bar{e}_{i,n}$$

Pour n = 1, 2, 3, 5, 7 et 10

c. la valeur moyenne:

$$\bar{g}_n = \frac{1}{7} \sum_{i=2}^{i=8} Z_{i,7,n}$$

Pour $n = 1, 2, 3, 5, 7$ et 10

En cas de test effectué sur une épaisseur différente du tableau du §4.1.2. du mode opératoire 54.13, une correction en fonction de l'épaisseur testée est appliquée sur les valeurs de e_{10} et α_2

$$\text{Facteur de correction} = \frac{\text{Epaisseur nominale}}{\text{Epaisseur réelle}}$$

On trace:

- La courbe $E : \bar{e}_n$ en fonction de n
- La courbe logarithmique de régression de $\log e = a \cdot \log n + \log b$. Cette courbe est déterminée en ajoutant aux données le couple de points (1,0) qui correspond à $\bar{e}_n = 0$ pour un nombre de cycle égal à 1 ($n = 0,0001$)

On détermine à partir de la courbe logarithmique de régression les valeurs, \bar{e}'_1 , \bar{e}'_7 et \bar{e}'_{10} correspondant aux valeurs de \bar{e}_1 , \bar{e}_7 , et \bar{e}_{10} corrigées.

On calcule les valeurs suivantes:

$$\alpha_2 = (\bar{e}'_{10} - \bar{e}'_7) \cdot \frac{1}{3}$$

$$\alpha_3 = (\bar{e}'_{10} - \bar{e}'_1) \cdot \frac{1}{9}$$

6. EXPRESSION DES RESULTATS

Les résultats sont consignés sur un formulaire conforme à l'annexe : 54.13/7.

Le rapport mentionne par essais les données suivantes :

1. Données du chantier, Entreprise
2. Numéro du mélange.
3. L'essai et/ ou le numéro du dossier .
4. Type de mélange.
5. Epaisseur de la couche et l'épaisseur nominale de l'éprouvette.
6. La température d'essai.
7. Les résultats en fonction du nombre de cycles

$E_{(n)}$ = la moyenne de l'ornièrre en mm

$G_{(n)}$ = la moyenne de l'ornièrre en mm à l'axe de l'éprouvette

$A_{(n)}$ = la moyenne de l'ornièrre en mm par 10.000 cycles

$E'_{(n)}$ = $E_{(n)}$ réduit (ramener) à la hauteur nominale

$G'_{(n)}$ = $G_{(n)}$ réduit (ramener) à la hauteur nominale

$A'_{(n)}$ = $A_{(n)}$ réduit (ramener) à la hauteur nominale

8. α_2 et la courbe logarithmique de régression e_n en fonction de n .

9. α_3

Fig. 54.13/1: Simulateur de trafic



Fig. 54.13/2: Plaque de mesure

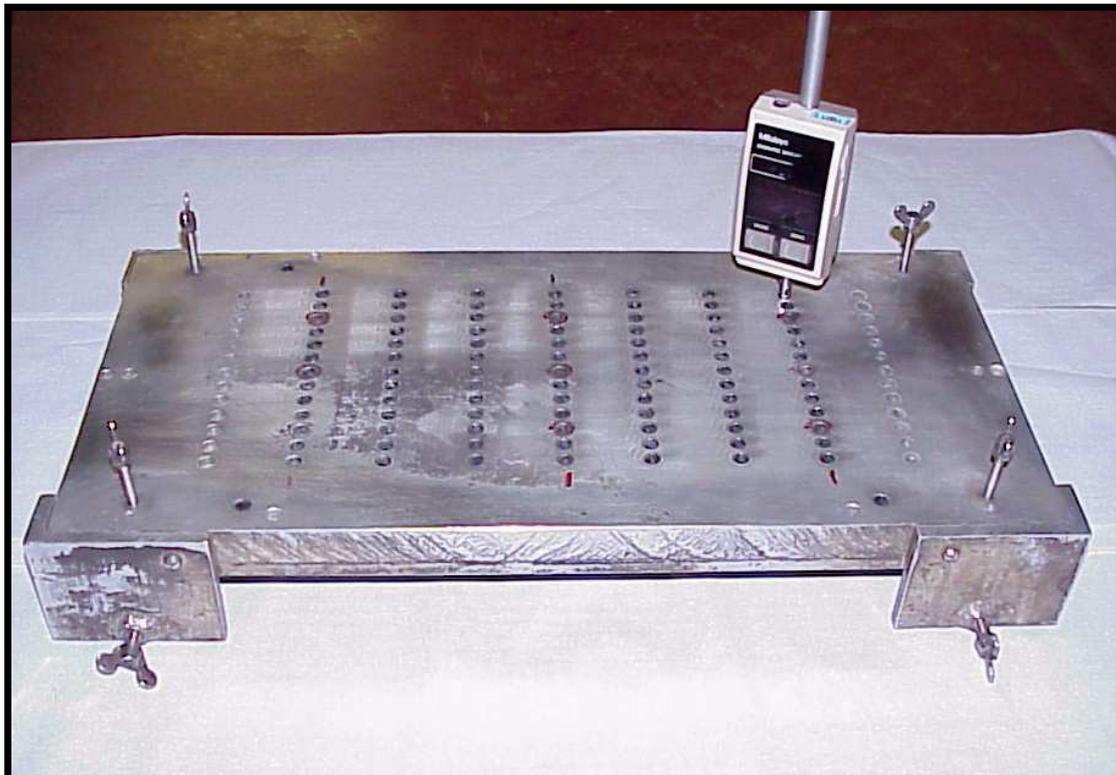


Fig. 54.13/3: Descriptif de la plaque de mesure

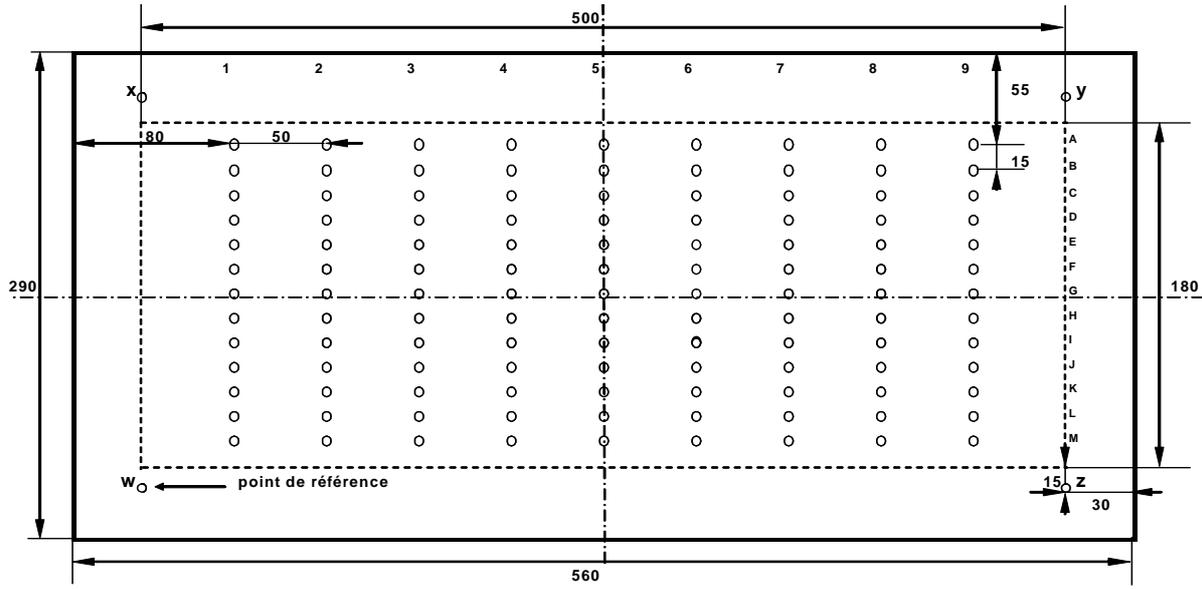


Fig. 54.13/4: Descriptif du moule

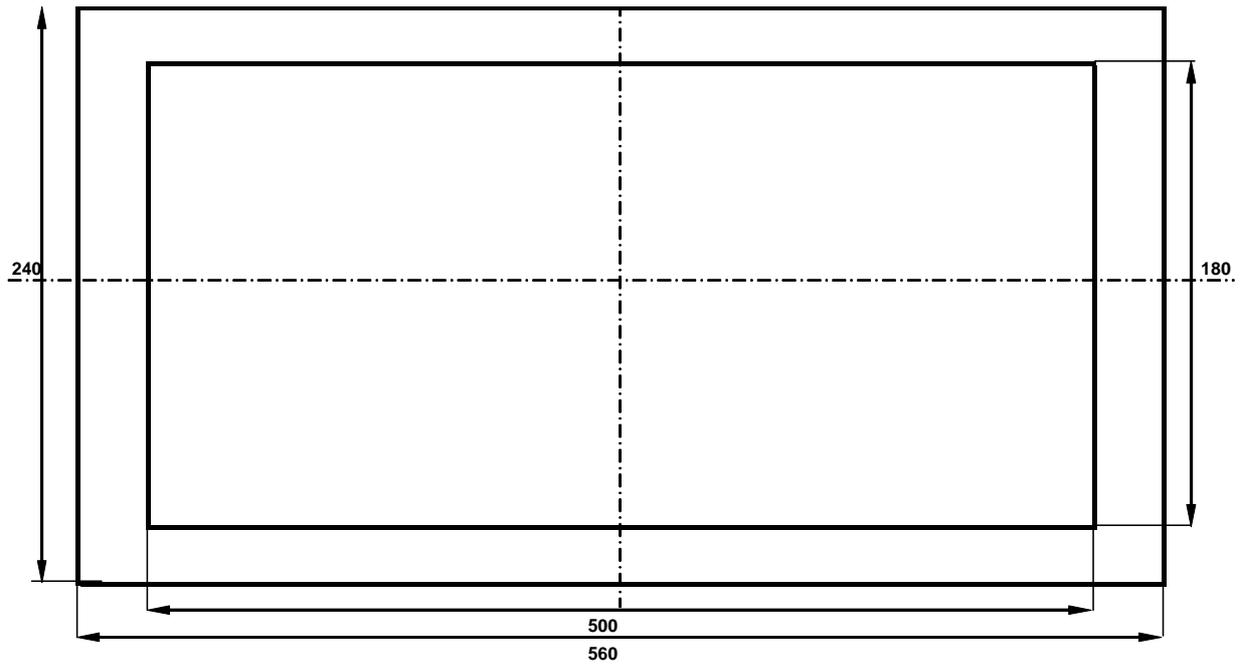


Fig. 54.13/5: Carottes sciées

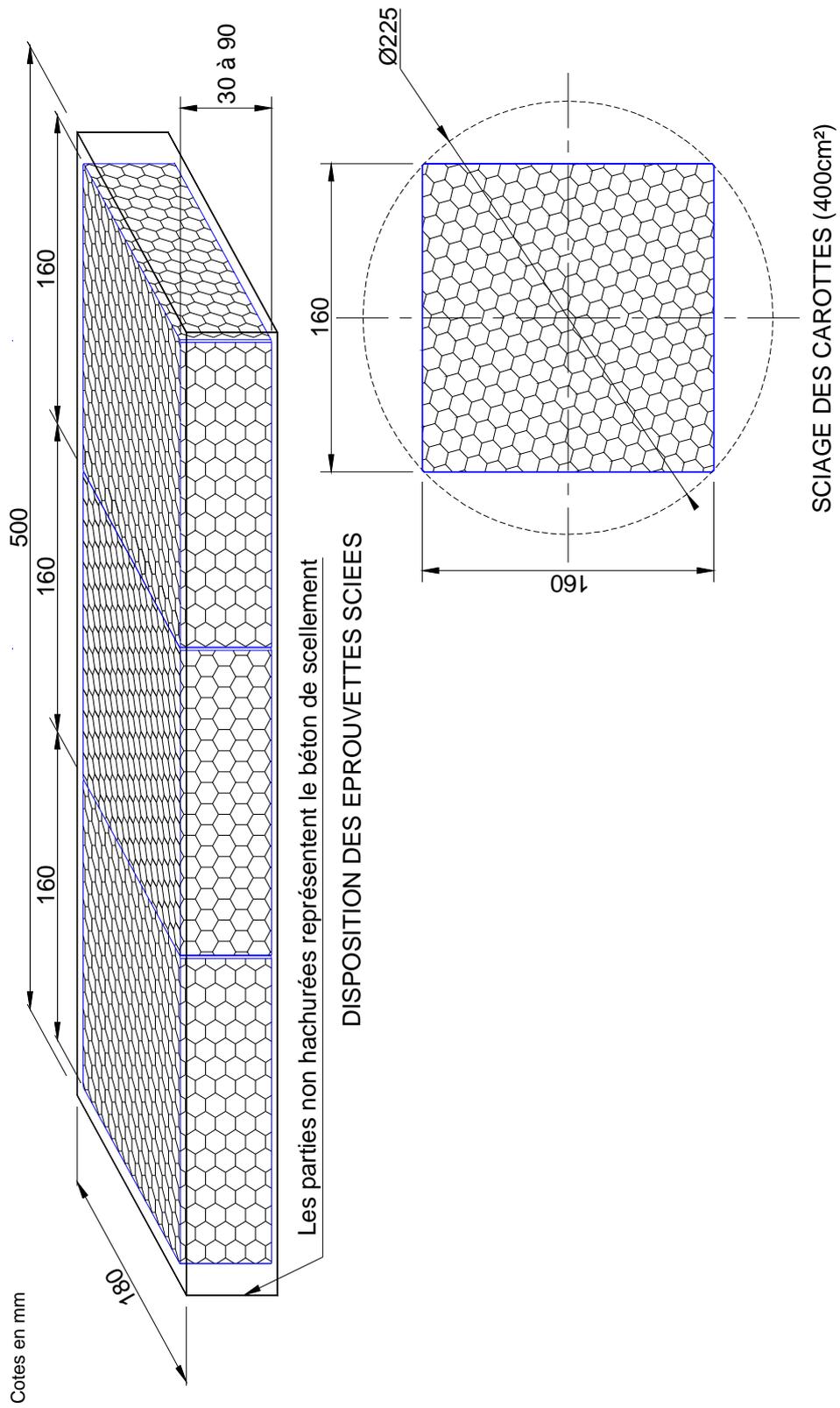
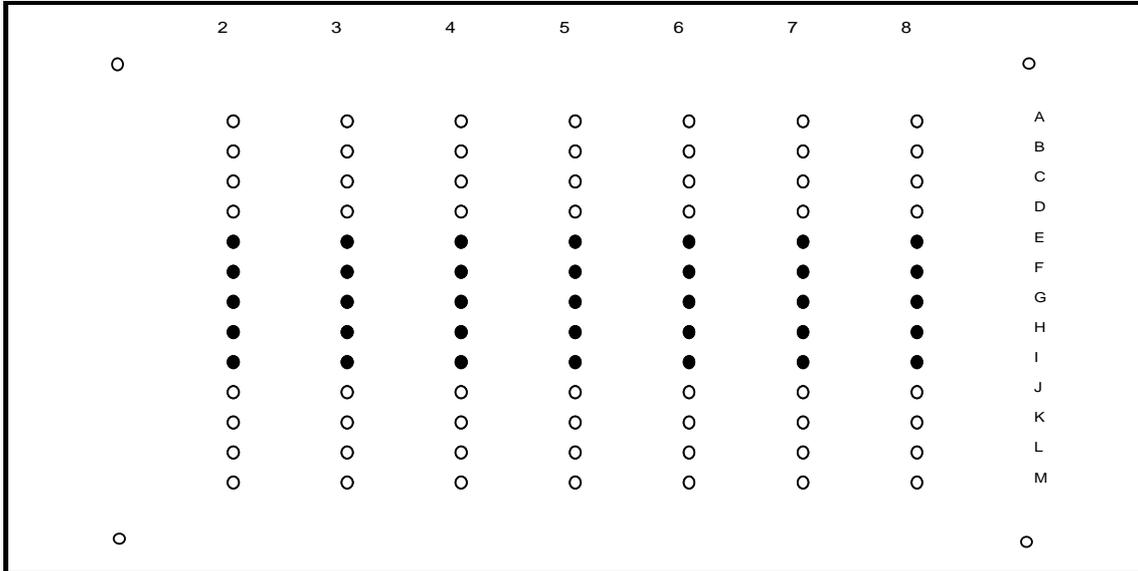


Fig. 54.13/6 : Mesure au simulateur de trafic

1° - Méthode de mesure A

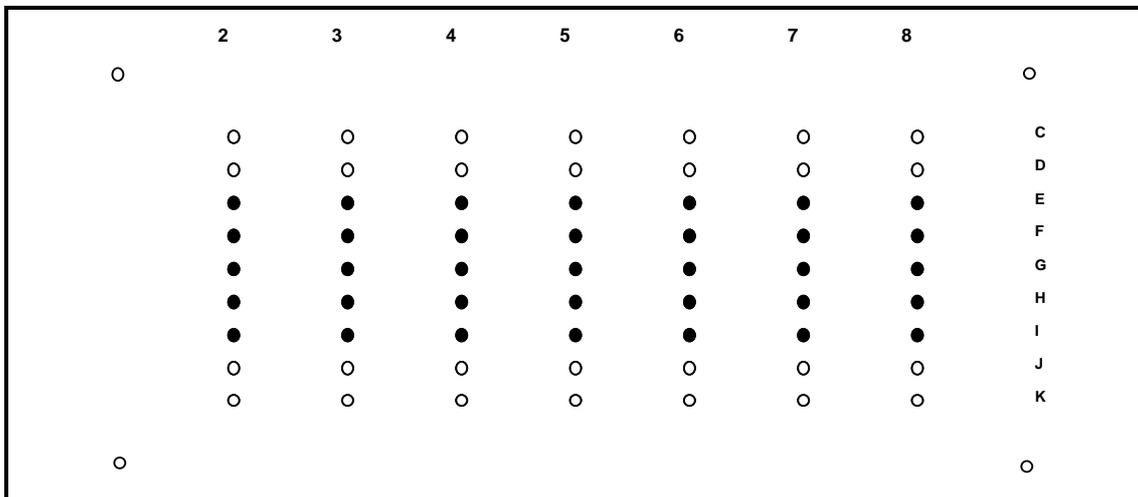
91 points de mesure ● et ○
35 points centraux ●



Tangente : 2x4 profils en long (ABCD et JKLM) sur 7 profils en travers

2° - Méthode de calcul (carottes) C

63 points utilisés ● et ○
35 points centraux ●



Tangente : 2x2 profils en long (CD et JK) sur 7 profils en travers

Laboratoire :

Résistance à l'orniérage

N° de route :

Section :

Type de revêtement :

Epaisseur moyenne de l'éprouvette: m m

Rapport n°:

Essai n°:

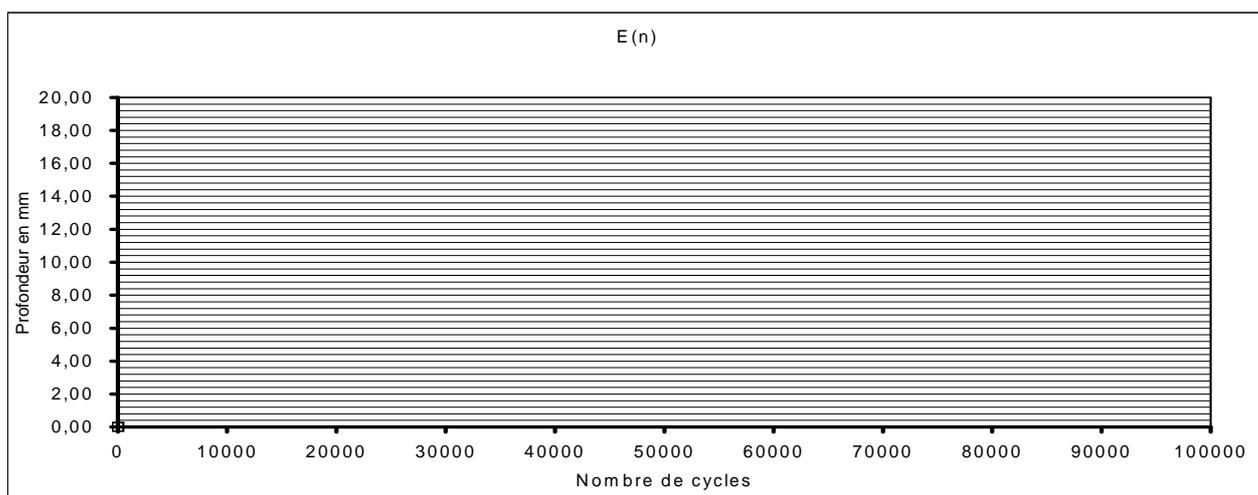
Evolution de l'orniérage au simulateur de trafic

Nbre cycles	E (mm)	G (mm)
0	0,00	0,00
10000		
20000		
30000		
50000		
70000		
100000		

E : moyenne de 35 points de l'ornière
(7 profils en travers & 5 profils en long)

G : moyenne de 7 points centraux de l'ornière

Fin d'essai : cycles
Température de l'essai : 35 °C
Charge de roue : 5 KN
Pneu : type : lisse
pression : 6 bars



Annexe 54.13/7 : Expression des résultats

54.16 ESSAI MARSHALL – ETUDE MARSHALL- EN REVISION

(Réf. de base: «Eisen 1978 voor bouwstoffen in de wegenbouw», Rijkswaterstaat, staatsuitgeverij, /s-Gravenhage, pp. 131-140).

A. ESSAI MARSHALL

1. BUT DE L'ESSAI

Déterminer les caractéristiques mécaniques (stabilité, fluage Marshall et leur quotient), ainsi que le pourcentage de vides, le pourcentage de vides du granulat et le pourcentage de vides du granulat occupé par le liant, de mélanges bitumineux denses enrobés et compactés à chaud dans des conditions normalisées.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Les enrobés bitumineux sont compactés dans des moules à l'aide d'une dame en vue de réaliser des éprouvettes cylindriques.

Ces éprouvettes (température: 60°C) sont placées entre les deux mâchoires semi-cylindriques d'une presse qui se rapprochent l'une de l'autre à une vitesse constante. Au cours de l'essai, la charge et la déformation sont enregistrées jusqu'à la rupture.

On détermine également le pourcentage de vides des éprouvettes, les vides du granulat et le taux de remplissage en liant des vides du granulat.

3. Appareillage

3.1. Pour la confection des éprouvettes

- Etuves pouvant atteindre des températures allant jusqu'à 200°C avec une précision de 3°C.
- Tamis conformes à la norme NBN B 11-101 pour les pierres et conformes à la norme ISO R20 pour le sable.
- Balance, assurant le 1/10.000 de la masse pesée et pouvant convenir pour pesées hydrostatiques.
- Moule cylindrique en métal de $(101,60 \pm 0,13)$ mm de diamètre intérieur et 87,3 mm de hauteur, avec plaque de base et hausse de 104,8 mm de diamètre intérieur et de 69,8 mm de hauteur (voir fig. 54.16/1). La plaque de base et la rehausse doivent pouvoir être adaptées à l'une et l'autre extrémités du moule.
- Dame de compactage à base circulaire de $(98,4 \pm 0,1)$ mm de diamètre, équipé d'un mouton cylindrique creux et symétrique par rapport à l'axe de la dame. La coupe transversale de la tige de guidage de la dame doit être circulaire. La masse du mouton est de (4535 ± 15) g et sa hauteur de chute est de (457 ± 3) mm.
- La dame de compactage doit être orientée perpendiculairement à la plaque de base et la hauteur de chute doit rester constante.
- Plaque chauffante électrique à réglage thermostatique.
- Malaxeur de laboratoire dont la cuve, d'une capacité appropriée (environ 5 l), doit être thermostatisée et doit pouvoir être enlevée afin de permettre la détermination de la quantité de bitume par pesée.
- Papier anti-adhésif de 100 mm de diamètre.
- Entonnoir métallique dont le diamètre de l'ouverture inférieure est juste plus petit que le diamètre de la hausse.
- Thermomètre, gradué de 10 à 200°C, précision 2°C.
- Enclume de compactage constituée d'un bloc en bois (hauteur 0,45 m, base 0,2 m x 0,2 m) dont la surface horizontale au sommet est recouverte d'une plaque en acier

(épaisseur 25 mm, base 0,3 m x 0,3 m). Cette plaque est fixée solidement au bloc. Le bois doit présenter une densité sèche de 680 à 780 kg/m³ (du chêne par exemple).

- Le bloc est fixé verticalement sur un support fixe et rigide (p. ex. dalle en béton de hauteur 0,2 m et de base 0,5 m x 0,5 m minimum). Le moule doit pouvoir être maintenu solidement en place sur le bloc lors du compactage.
- Dispositif permettant de démouler l'échantillon compacté sans le détériorer.
- Brosse à poils durs non métalliques.

3.2. Pour l'examen des éprouvettes

- Appareillage pour la détermination du volume et du pourcentage de vides de l'échantillon (méthode hydrostatique sans préparation préalable des éprouvettes).
- Bain thermostatique à température constante, précision 1°C, d'une capacité de 50 l au moins et de 150 mm de profondeur minimum et pourvu d'une plaque perforée placée à 50 mm au-dessus du fond.
- Dispositif de compression comprenant des mâchoires constituées de deux segments cylindriques (longueur 76,2 mm, rayon intérieur 50,8 mm – voir fig. 54.16/2). La mâchoire inférieure est fixée à la plaque de base munie de deux tiges de guidage verticales. La mâchoire supérieure est équipée de deux manchons de guidage permettant son déplacement. Ce déplacement vertical doit se faire avec peu de frottement. Les mâchoires sont disposées de manière telle que l'éprouvette cylindrique puisse être placée, axe horizontal entre celles-ci, sans enlever la mâchoire supérieure.
- Presse mécanique équipée d'un système d'entraînement permettant de maintenir, lors de l'essai, une vitesse de déformation constante de $(0,85 \pm 0,02)$ mm/s.
- Chronomètre.
- Dispositif de mesure de la charge, précision 2 %.
- Système d'enregistrement permettant d'établir la courbe de variation de la charge en fonction de la déformation.
- Si l'enregistrement se fait sur papier en fonction du temps, la vitesse de défilement de l'enregistreur doit être d'au moins 8 mm/s.
- La largeur maximale d'enregistrement doit permettre la détermination de la charge maximale avec une échelle présentant au minimum 1 mm de papier par 100 N.

4. MODE OPERATOIRE

4.1. Confection des éprouvettes

Les granulats sont séchés à l'étuve à au moins 105°C jusqu'à masse constante.

Après refroidissement, ces matériaux sont tamisés; ensuite il est procédé à la détermination des proportions nécessaires à l'obtention de la distribution granulométrique souhaitée.

Individuellement pour chaque éprouvette, les quantités nécessaires sont pesées cumulativement par calibres nominaux croissants avec une précision de 0,5 g. Le filler est pesé séparément.

La quantité totale (remarque 7.1.) est choisie de telle façon que la hauteur de l'éprouvette se situe de préférence entre 62 et 65 mm après compactage (en tous cas l'épaisseur de l'éprouvette doit être comprise entre 60,5 mm et 66,5 mm).

Ces granulats sont ensuite portés à une température supérieure de 10 à 20°C à la température de malaxage (voir remarque 7.2.). Le moule, la plaque de base et la hausse préalablement nettoyés sont portés dans l'étuve à la même température que le granulat. Le pied de la dame, également nettoyé, est chauffé sur la plaque chauffante électrique.

La quantité de liant à utiliser est portée à la température de malaxage (remarque 7.3.);

Les composants préchauffés du mélange sont introduits dans le récipient de malaxage en respectant l'ordre suivant:

- 1 Introduction du mélange pierres + sable
- 2 Introduction de la quantité nécessaire de liant, immédiatement suivie d'un malaxage préalable durant une dizaine de secondes.
- 3 Introduction de la quantité nécessaire de filler.

Le mélange complet est malaxé immédiatement pendant 90 secondes.

Le moule, la plaque de base et la hausse préchauffés sont assemblés.

On empêchera l'adhérence à la plaque de base à l'aide de papier anti-adhésif.

Tout le mélange est versé en une fois dans le moule via l'entonnoir.

Le moule est fixé sur l'enclume. Le mélange est convenablement réparti le long de la paroi verticale en remuant les matériaux verticalement au moyen d'un couteau ou d'une spatule. Une dizaine de mouvements sont nécessaires à cet effet.

Le récipient de malaxage utilisé doit être soigneusement vidé, mais le liant collant aux parois ne doit pas être enlevé au moyen de solvant de manière à compenser la perte de liant par adhérence aux parois lors de la préparation de l'éprouvette suivante. Un mélange préparé dans un récipient de malaxage parfaitement propre, ne peut pas être utilisé pour la fabrication d'une éprouvette.

Le thermomètre est placé au centre de la masse, à environ 30 mm au-dessous de la surface.

Dès que la température de compactage est atteinte, le thermomètre est retiré, un papier anti-adhésif est placé et le compactage (voir remarque 7.2.) est entamé. Ce compactage est réalisé en appliquant, à l'aide de la dame, 50 coups en (55-60) s sur la surface de l'éprouvette. Ensuite, le moule et son contenu sont immédiatement retournés. Si nécessaire, la hausse est fixée à l'autre extrémité du moule. Ce dernier est placé à nouveau sur l'enclume et la seconde face de l'éprouvette est compactée de la même manière en appliquant 50 coups de dame.

La plaque de base et le papier anti-adhésif sont retirés et le moule contenant l'éprouvette est refroidi à l'air jusqu'à ce que l'éprouvette puisse être démoulée sans être endommagée (ceci nécessite le plus souvent 2 à 3 h de refroidissement).

L'éprouvette est démoulée et placée avec une de ses faces planes sur une surface horizontale. Elle est conservée ainsi à température ambiante pendant 12 à 24 h. Elle est ensuite ébarbée au moyen de la brosse à poils durs.

Pour une même composition, on prépare 5 éprouvettes.

4.2. Examen des éprouvettes.

On détermine le volume ainsi que la masse volumique apparente de l'éprouvette (méthode hydrostatique sans préparation préalable de l'éprouvette).

L'éprouvette est placée, avec une de ses faces planes, sur la plaque perforée du bain d'eau préalablement thermostaté à $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$. Elle y est conservée pendant 30 à 40 minutes (remarque 7.4).

Les mâchoires propres du dispositif de chargement sont également portées à la température prescrite.

L'éprouvette et les mâchoires sont retirées du bain thermostatique.

L'éprouvette est ensuite placée entre les mâchoires.

Il est indispensable que les mâchoires coulissent à frottement doux sur leurs guides, que l'éprouvette soit centrée dans les mâchoires, que le contact entre mâchoires et éprouvette soit uniforme et enfin que l'ensemble du dispositif de chargement soit centré sous la presse.

L'éprouvette est écrasée à une vitesse de déformation constante de $(0,85 \pm 0,02)$ mm/s. On enregistre le diagramme charge/déformation (diagramme Marshall) à l'aide de l'enregistreur. Le temps écoulé entre le moment où l'éprouvette est retirée du bain thermostatique et le moment où la charge maximale est atteinte ne peut pas dépasser 30 s.

On détermine la masse volumique maximum du mélange (voir remarque 7.5).

5. CALCULS

La stabilité Marshall P_m est la charge maximale, en N, multipliée par le facteur de correction (voir tableau 54.16/5) correspondant au volume de l'éprouvette. Ce calcul est fait avec une précision de 10 N.

Le fluage Marshall F_m est exprimé en mm avec une précision de 0,1 mm à partir du diagramme Marshall obtenu (voir fig. 54.16/3 et 54.16/4).

On calcule pour chaque éprouvette le quotient Marshall Q_m , en N/mm, avec une précision de 10 N/mm:

$$Q_m = \frac{P_m}{F_m}$$

On calcule le pourcentage de vides de l'éprouvette et le pourcentage des vides du granulat occupé par le liant. Ce dernier pourcentage est calculé avec une précision de 1 %, par la formule:

$$\frac{\frac{MVA \cdot L}{\gamma_b}}{n + \frac{MVA \cdot L}{\gamma_b}} \cdot 100 \%$$

où:

MVA = masse volumique apparente de l'éprouvette, en g/cm³;

γ_b = masse volumique du bitume, en g/cm³;

L = teneur en bitume, en %, par rapport à la masse des granulats enrobés;

n = pourcentage de vides de l'éprouvette.

6. EXPRESSION DU RESULTAT

On calcule les valeurs moyennes de la stabilité, du fluage, du quotient, du pourcentage de vides et du pourcentage de vides du granulat occupé par le liant, à partir des valeurs obtenues lors de l'examen des éprouvettes, et en tenant compte de la précision imposée pour ces valeurs.

Au cas où, pour une éprouvette seulement, les valeurs de la stabilité ou du fluage s'écartent respectivement de plus de 15 % ou 20 % des valeurs moyennes, on élimine la valeur de l'éprouvette fautive et les moyennes sont recalculées à partir des valeurs restantes.

Au cas où les écarts par rapport aux valeurs moyennes subsistent, il y a lieu de recommencer l'essai.

Outre les valeurs calculées ci-dessus, le rapport mentionne:

- la masse volumique des pierres, des sables, et des concassés de débris d'enrobés bitumineux;
- le pourcentage de vides et la masse volumique du filler d'apport et des fines de récupération, ainsi que la masse volumique des fines issues d'un additif, et les caractéristiques du mélange;
- la pénétrabilité, le point de ramollissement et la masse volumique du liant, du liant issu des additifs et des concassés de débris d'enrobés bitumineux, ainsi que les caractéristiques du mélange;
- la granularité de tous les matériaux utilisés (y compris les fillers, les additifs et les concassés de débris d'enrobés bitumineux);
- la teneur en liant des concassés de débris d'enrobés bitumineux;
- la composition (le pourcentage des différents composants);
- le diamètre intérieur du moule Marshall;
- la température du bain d'eau;
- par teneur en liant, les quatre résultats individuels concordants avec par résultat:
 - l'épaisseur de l'éprouvette Marshall;
 - la masse de l'éprouvette dans l'eau et dans l'air (g);
 - la force (N);
 - le fluage (mm).

7. REMARQUES

7.1. Pour des enrobés denses renfermant des granulats dont la masse volumique est voisine de $2,7 \text{ g/cm}^3$, la masse requise est d'environ 1200 g.

7.2. La température de malaxage est la température à laquelle la viscosité du liant est de $170 \text{ mm}^2/\text{s}$; la tolérance est de $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. La température au début du compactage est la température à laquelle la viscosité du liant est de $280 \text{ mm}^2/\text{s}$; la tolérance est de $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ces informations sont normalement disponibles auprès du fournisseur. Pour le bitume pur, à défaut d'information, on utilisera les données du tableau suivant :

Valeurs pratiques				
Bitume de pénétration	10-20	35-50	50-70	70-100
Température de malaxage ($170 \text{ mm}^2/\text{s}$)	$175^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$	$165^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$	$160^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$	$155^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$
Température du début du compactage ($280 \text{ mm}^2/\text{s}$)	$165^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$	$155^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$	$150^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$	$145^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

7.3 Une plus grande quantité de liant peut éventuellement être préchauffée jusqu'à une température maximale de 120°C dans une étuve séparée.

Du liant qui aurait été porté à la température de malaxage ne peut plus, après refroidissement, être réutilisé pour un essai ultérieur.

Le liant ne peut être maintenu pendant plus de 4 heures à la température de malaxage.

7.4 Il importe que toutes les éprouvettes subissent la même durée de séjour dans le bain. Il est donc recommandé de placer les éprouvettes dans le bain thermostatique selon la cadence avec laquelle elles seront comprimées ultérieurement.

Il faut aussi par conséquent tester les éprouvettes en respectant l'ordre dans lequel elles ont été placées dans le bain.

7.5 Pour la détermination de la masse volumique maximum du mélange, il suffit en général d'examiner une seule éprouvette par teneur en liant.

La masse volumique maximum peut également être calculée à partir de la masse volumique mesurée des différents constituants.

Le rapport d'essai mentionne la méthode utilisée.

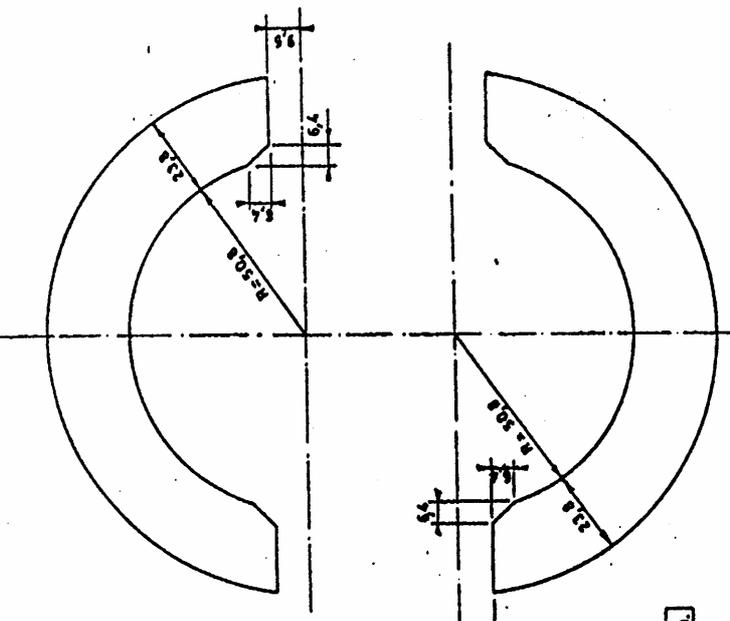


FIG. 54.16 / 2

COUPE DU DISPOSITIF DE CHARGEMENT

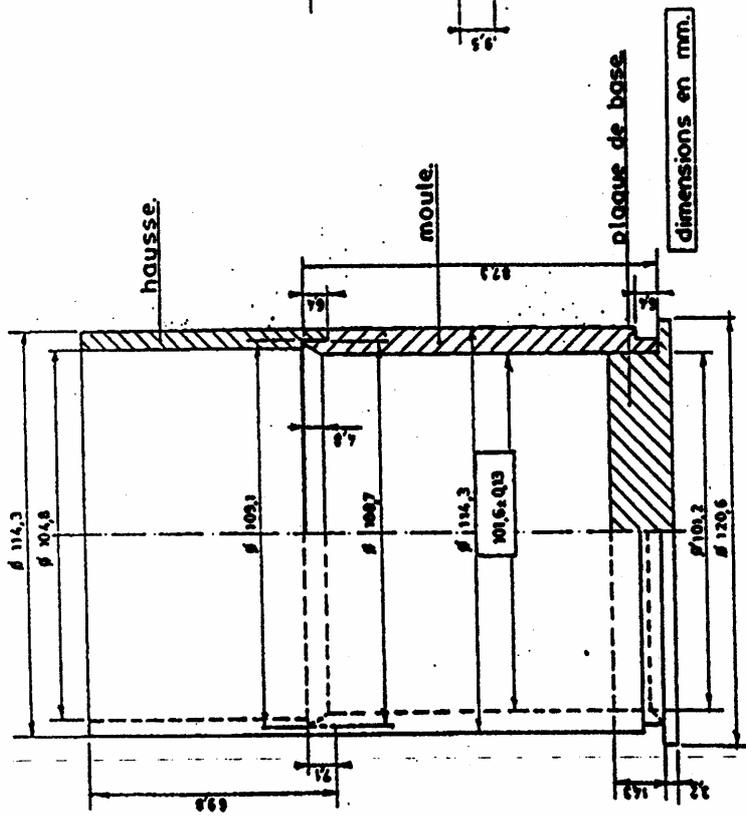


FIG. 54.16 / 1

COUPE DU MOULE MARSHALL.

(la dimension essentielle est encadrée)

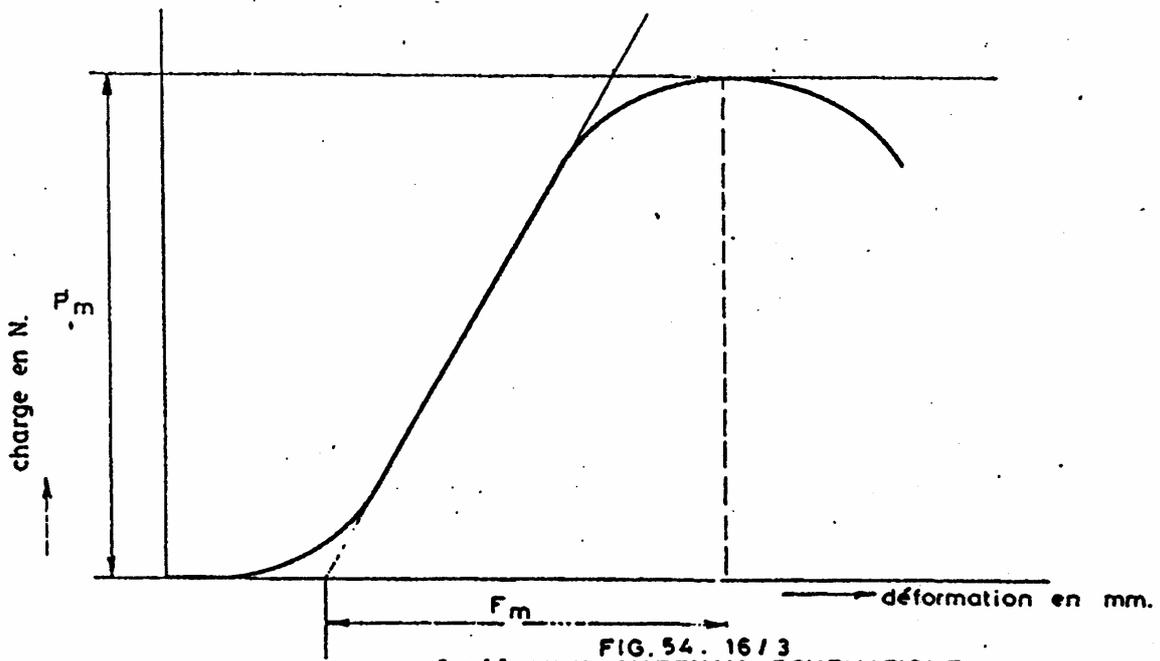


FIG. 54.16/3
DIAGRAMME MARSHALL SCHEMATIQUE

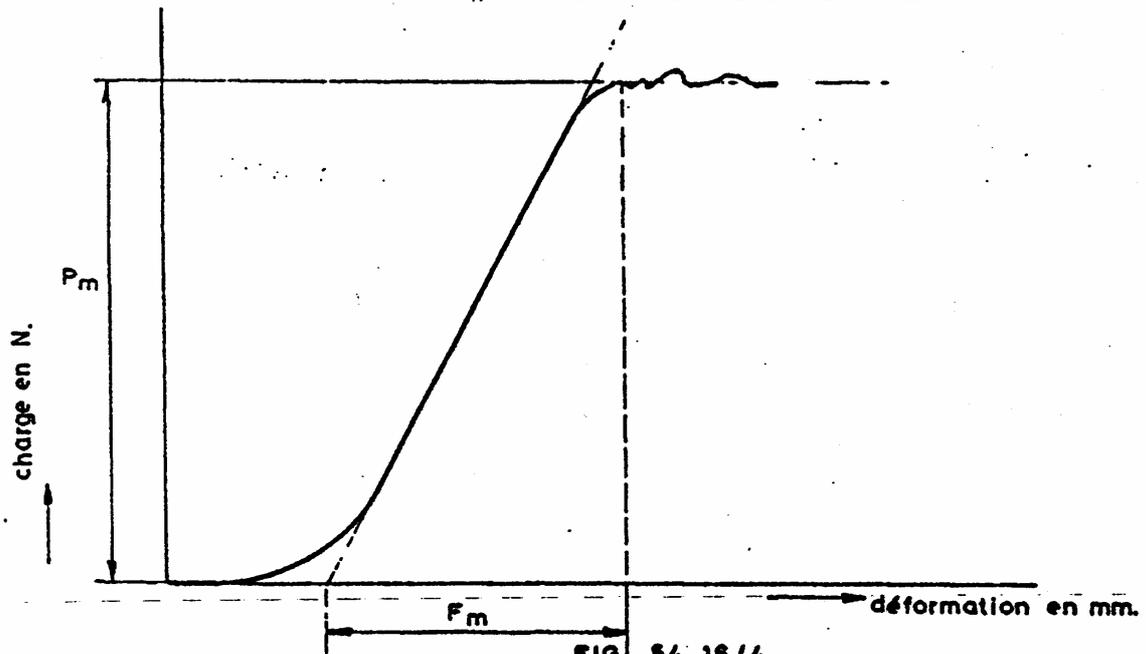


FIG. 54.16/4
DIAGRAMME MARSHALL SCHEMATIQUE

Tableau 54.16/5

Correction de la stabilité en fonction du volume de l'éprouvette Marshall

HAUTEUR	VOLUME	CORRECTION	HAUTEUR	VOLUME	CORRECTION
60,5	490	1,08	63,6	516	1,00
60,6	491	1,08	63,7	516	0,99
60,7	492	1,08	63,8	517	0,99
60,8	493	1,07	63,9	518	0,99
60,9	494	1,07	64,0	519	0,99
61,0	495	1,07	64,1	520	0,98
61,1	495	1,06	64,2	520	0,98
61,2	496	1,06	64,3	521	0,98
61,3	497	1,06	64,4	522	0,98
61,4	498	1,06	64,5	523	0,97
61,5	499	1,05	64,6	524	0,97
61,6	499	1,05	64,7	525	0,97
61,7	500	1,05	64,8	525	0,97
61,8	501	1,05	64,9	526	0,96
61,9	502	1,04	65,0	527	0,96
62,0	503	1,04	65,1	528	0,96
62,1	503	1,04	65,2	529	0,95
62,2	504	1,03	65,3	529	0,95
62,3	505	1,03	65,4	530	0,95
62,4	506	1,03	65,5	531	0,95
62,5	507	1,03	65,6	532	0,94
62,6	507	1,02	65,7	533	0,94
62,7	508	1,02	65,8	533	0,94
62,8	509	1,02	65,9	534	0,94
62,9	510	1,02	66,0	535	0,93
63,0	511	1,01	66,1	536	0,93
63,1	512	1,01	66,2	537	0,93
63,2	512	1,01	66,3	537	0,93
63,3	513	1,01	66,4	538	0,92
63,4	514	1,00	66,5	539	0,92
63,5	515	1,00			

B. ETUDE MARSHALL

1. BUT DE L'ESSAI

L'étude Marshall est effectuée pour déterminer le pourcentage de liant optimum de manière à obtenir un enrobé durable répondant aux caractéristiques prescrites au cahier des charges type.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

L'étude Marshall consiste en une série d'essais Marshall sur des éprouvettes de même granularité mais de teneur en liant variable.

3. APPAREILLAGE

cfr. Essai Marshall.

4. MODE OPERATOIRE

La granularité du mélange est vérifiée sur les tamis d'ouvertures de maille faisant partie de la série : 31,5 – 25,0 – 20,0 – 14,0 – 10,0 – 7,1 – 4,0 – 2,0 – 1,00 – 0,50 – 0,25 – 0,125 – 0,063 mm et fait l'objet d'une présentation sur diagramme.

Les essais Marshall sont réalisés pour 5 teneurs en liant espacées de 0,3 % chacune.

5. CALCULS – EXPRESSION DES RESULTATS – RAPPORT D'ETUDE MARSHALL

Les valeurs des caractéristiques sont individuellement reportées sur un graphique avec la teneur en liant pour abscisse, de manière à déterminer la valeur optimum du pourcentage de liant retenu. Si nécessaire, celle-ci peut être déterminée graphiquement par l'interpolation entre deux des cinq valeurs. Dans ce cas, toutes les caractéristiques sont vérifiées uniquement par interpolation des valeurs.

Pour un écart de $\pm 0,3\%$ par rapport à l'optimum retenu, la stabilité doit être d'au moins 90% de la valeur de stabilité obtenue à l'optimum, et le fluage doit être conforme aux caractéristiques imposées. Pour vérifier ces exigences, il est parfois nécessaire d'exécuter un essai Marshall supplémentaire.

54.17 DETERMINATION DE LA DRAINABILITE IN SITU D'ENROBES DRAINANTS (VERSION 06/2012)

Référence de base: F. Perez Jimenez, C. Kraemer, A. Lacleta Munoz - «Enrobés drainants; étude de leurs caractéristiques en laboratoire et construction des premiers tronçons d'essais espagnols» - Eurobitume Symposium 1981, 270-274, Cannes, 1981).

1. BUT DE L'ESSAI

Déterminer sur chantier la drainabilité des enrobés drainants.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

On mesure la durée d'écoulement d'une quantité d'eau donnée dans un revêtement en enrobés drainants.

3. APPAREILLAGE ET PRODUIT

- Un perméamètre à hauteur d'eau variable (voir figure 54.17/1) constitué:
 - d'un support en métal présentant une ouverture de 30 mm de diamètre;
 - d'un grand cylindre en plastique transparent, d'environ 50 cm de hauteur, gradué en deux endroits déterminés, vissé et collé dans le support précité en vue d'assurer l'étanchéité;
 - d'un anneau collé à la base du même support et composé de caoutchouc cellulaire SBR étanche, dont la déformation rémanente à 23 °C est située entre 10 et 20 %.
- Un anneau avec 2 poignées et d'une masse de $(20 \pm 0,1)$ kg pouvant coulisser à l'extérieur du cylindre précité
- Une réserve d'eau d'environ 10 litres de capacité.
- Un chronomètre.

4. MODE OPERATOIRE

A l'endroit choisi pour la mesure, déposer le perméamètre. Glisser la masse de 20 kg le long du grand cylindre en plastique transparent et la déposer sur le support du perméamètre.

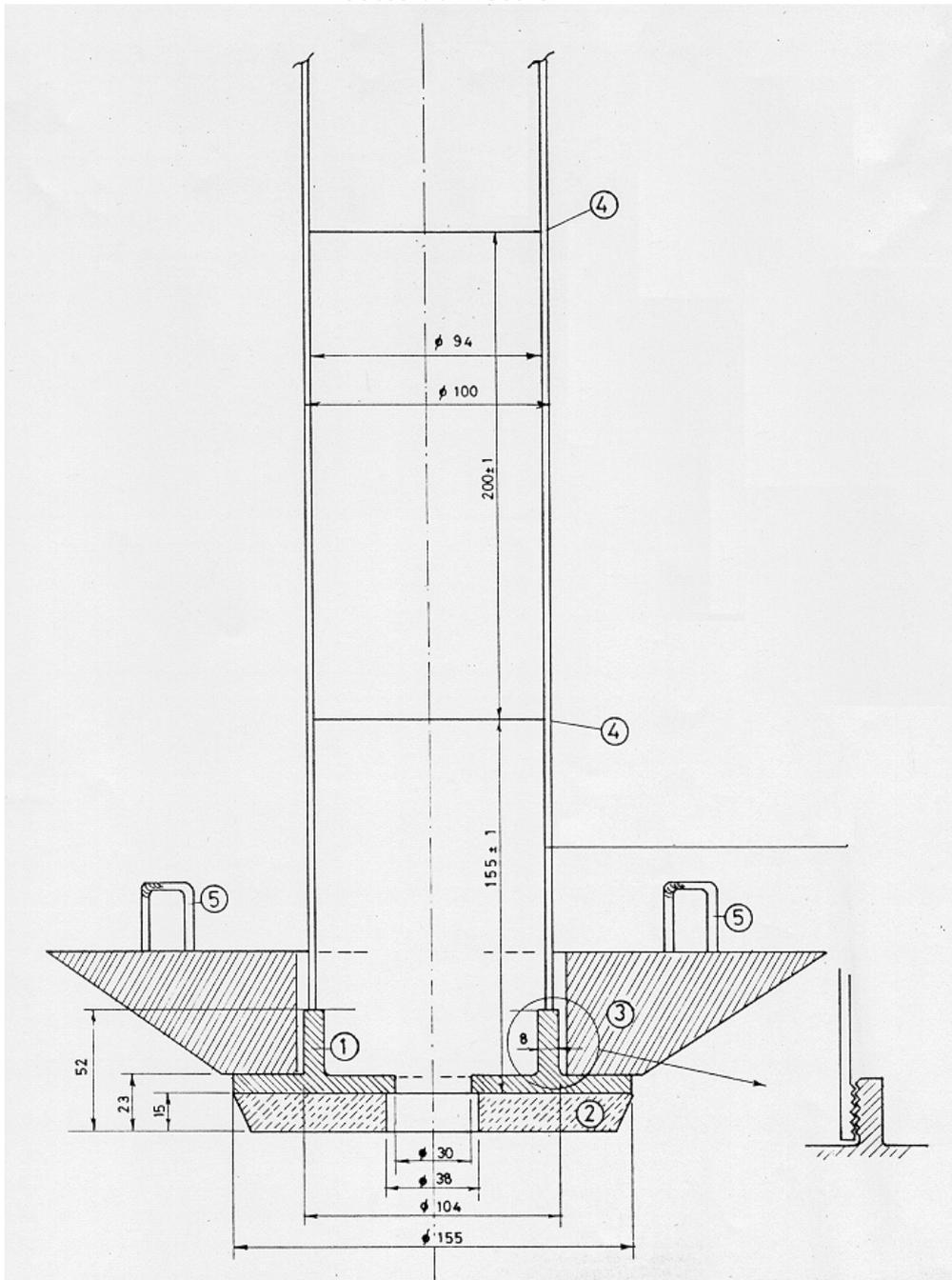
Verser $(10,0 \pm 0,5)$ litres d'eau dans le perméamètre au moyen du récipient, afin de «mouiller» le revêtement.

Verser ensuite de l'eau de manière à amener son niveau au-dessus de la graduation supérieure du grand cylindre. Ensuite, mesurer la durée d'écoulement de l'eau dans le perméamètre entre les deux graduations.

5. EXPRESSION DES RESULTATS

Le niveau de drainabilité du revêtement est conventionnellement donné par la durée d'écoulement précitée, exprimée en secondes.

APPAREIL POUR LA MESURE DE LA DRAINABILITE IN SITU
Cotes données en mm



- 1 : Support en métal
- 2 : Anneau en caoutchouc cellulaire
- 3 : Masse 20 kg
- 4 : Graduations du grand cylindre
- 5 : Poignées de la masse de 20 kg

Fig. 54.17/1

54.18 ESSAI AU SIMULATEUR DE TRAFIC (ESSAI D'ORNIERAGE SUR REVETEMENTS HYDROCARBONES A PARTIR DE MELANGES FABRIQUES EN LABORATOIRE) - 03/2012

Réf de base:

Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud

NBN EN 12697-35+A1 - Mixe laboratoire

NBN EN 12697-33+A1 - Préparation des corps d'épreuve au compacteur de plaque

NBN EN 12697-31 - Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire

NBN EN 12697-22+A1 - Essai d'orniérage

1. BUT DE L'ESSAI

Evaluer dans des conditions d'essai données, la résistance à l'orniérage d'un mélange hydrocarboné préparé et compacté en laboratoire.

2. PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Une éprouvette de mélange hydrocarboné, de forme parallélépipédique est soumise en surface, à l'action d'une charge de roue décrivant un mouvement aller-retour rectiligne à une fréquence donnée et à une température constante.

On considère comme profondeur d'ornière en un point de la surface de l'éprouvette, la dénivellation verticale permanente par rapport aux bords du moule dans lequel l'éprouvette a été confectionnée. Le pourcentage de profondeur d'ornière mesurée est la valeur moyenne des dénivellations mesurées sur 2 éprouvettes par rapport à leur épaisseur.

3. APPAREILLAGE ET PRODUITS

3.1. Matériel pour déterminer l'orniérage.

(Norme NBN EN 12697-22)

- Un simulateur de trafic qui peut simuler une répétition de passages d'une roue dans des conditions d'une circulation canalisée. Il est équipé de 2 roues solidaires d'un chariot qui permettent de tester simultanément 2 éprouvettes. (Voir figure 54.13/1)

Les principales caractéristiques sont:

- Longueur de la course: (500 ± 5) mm
- Equation du mouvement (à l'incidence de la biellette près:)
$$x = 0,25 \sin \omega t$$

(ω = fréquence angulaire)
(t = temps)
- Vitesse maximum: 1,6 m/s
- Accélération maximum: 10 m/s²
- Fréquence du mouvement: 1 Hz
- Plaque de support de l'éprouvette montée sur appuis simples
- Thermostatation par une circulation d'air chaud, permettant de maintenir une température constante à $\pm 2^\circ\text{C}$ dans l'éprouvette.
- Force appliquée sur chaque éprouvette réglable de 1 à 6 KN à $\pm 5\%$.
- Pneus lisses: 16 X 4 ER
- pneumatique sans sculpture 400 x 8

- largeur de trace ($8 \pm 0,5$)cm
- Pression gonflage : ($6,0 \pm 0,1$) bar
- Dispositif d'enregistrement de la température de l'éprouvette pendant l'essai.
- Moules en métal dont les dimensions intérieures de la cavité sont:
- longueur de (500 ± 1) mm
- largeur de (180 ± 1) mm
- hauteur de (30,40, 50, 60, 80 ou 100) mm à ± 1 mm près.

Ils doivent être non déformables dans les conditions de l'essai.(Voir figure 54.13/4)

- Plaque de base en acier dont la planéité est contrôlée.
La flèche n'excède pas 1 mm dans les conditions normales de l'essai.
- Un dispositif de mesure conforme à la norme
- Programme informatique pour l'encodage des caractéristiques des essais et calcul de l'orniérage.

3.2. Matériel spécifique pour essais sur éprouvettes d'hydrocarboné préparées en laboratoire.

1°) Matériel de fabrication de l'enrobé (Norme NBN EN 12697-31)

- Un malaxeur planétaire à cuve thermostatée aux caractéristiques suivantes (Voir figure 54.18/1):
 - Une cuve de malaxage isolée et thermostatée, ayant une capacité minimale de 35 litres.
 - Un mélangeur à battement épicycloïdal.
 - Réglage de température de (50 à 250)°C à ± 5 °C près.
- Une étuve ventilée et thermostatée permettant d'atteindre des températures jusqu'à 250°C avec une précision de ± 5 °C.
- Une balance d'une portée minimum de 20 kg et permettant de peser au 1/10.000^{ème} de la masse pesée.
- Récipients métalliques pour le séchage des matériaux, capacité minimale $\cong 15$ l
- Un thermomètre gradué (50 à 250) °C avec une précision de 1 °C
- Un congélateur permettant d'atteindre une température de - 18 °C

2°) Matériel de compactage

Compactage à l'aide d'un compacteur de plaque (suivant NBN EN 12697-33)

- Un compacteur de plaque devant:
 - permettre d'appliquer une charge F sur la ou les roues, réglable entre 1 et 10 kN à $\pm 5\%$,
 - comporter une ou plusieurs roues équipées de pneumatiques sans sculpture de dimension 400 x 8",
 - comporter deux cylindres métalliques lisses de diamètre permettant de s'adapter sur les roues équipées de pneumatique (diamètre intérieur 40 cm), de longueur de génératrice égale à ($17,5 \pm 0,2$) cm ou ($39 \pm 0,5$) cm et d'épaisseur comprise entre (0,4 et 0,8) cm,
 - permettre la translation de la charge roulante à la vitesse Vt constante à 10 % près,
 - comporter un système de positionnement de la ou des roues sur les différents axes de compactage selon des valeurs de translation latérales prédéterminées,
 - permettre un mode de fonctionnement à axe libre ou bloqué,
 - comporter éventuellement une ou plusieurs cales de dimensions appropriées pour réaliser des plaques d'épaisseur E spécifiée différente de la hauteur H du moule,

- comporter un dispositif de mesure de l'épaisseur E en continu ayant une résolution inférieure ou égale à 0,1 cm,
 - comporter un système permettant de ramener la surface de la plaque affleurante au bord supérieur du moule périodiquement en cours de compactage.
- Une feuille de caoutchouc armé :
 - Longueur: (500 ±1) mm.
 - Largeur: (200 ± 1) mm
 - Epaisseur: (5 ± 1) mm
 - Une dame métallique plane, rectangulaire, dont les dimensions sont 100 mm x 120 mm x 10 mm.

4. MODE OPÉRATOIRE

4.1. Préparation de l'éprouvette.

4.1.1 Préparation de l'échantillon d'hydrocarboné .

Sécher les granulats à masse constante dans l'étuve à une température de (110 ± 5) °C.

Laisser refroidir les granulats; peser avec une précision de 0,1 % de la masse pesée, les quantités de matériau de base nécessaires pour le mélange (pierres, sables,...).

Peser séparément le filler.

Prévoir une quantité de mélange hydrocarboné pour que la hauteur de l'éprouvette après compactage atteigne la hauteur nominale du type d'enrobé hydrocarboné à tester. Placer les matériaux pesés à l'étuve.

Nettoyer le moule métallique muni de sa plaque de base; ensuite le mettre à l'étuve.

Régler la température de l'étuve contenant le moule et les matériaux à une valeur de 10°C supérieure à la température de fabrication du mélange hydrocarboné.

De manière à prélever exactement la quantité de liant (prise d'essai) et à faciliter son incorporation dans le malaxeur, il est conseillé de congeler la prise de liant dans son récipient d'origine ou dans une barquette en aluminium de type alimentaire, obligation pour les bitumes PMB:

- Le liant est chauffé à l'étuve à une température ne pouvant dépasser son point de ramollissement de plus de 90°C. La prise d'essai est réalisée selon la méthode décrite dans la norme EN 12594 et ceci particulièrement pour les liants modifiés.
- La barquette contenant la prise d'essai est ensuite congelée à -18 °C.

Verser, dans le malaxeur, les composants préchauffés dans l'ordre suivant:

1°) Pierres - mélange sables - éventuellement fibres.

2°) Eventuellement les agrégats d'enrobés

3°) Liant.

Mélanger pour que le liant soit diffusé uniformément dans le mélange.

3°) Filler - éventuellement de la chaux.

Mélanger durant 4 minutes au maximum.

Température de référence pour les enrobés avec du bitume de grade routier (voir §6 de la Norme EN 12697-35)

Pour les autres types de liant suivre les instructions du fournisseur.

4.1.2 Compactage de l'hydrocarboné.

Epaisseur des éprouvettes destinées à l'essai au simulateur de trafic:

En règle générale l'épaisseur des éprouvettes est celle imposée au cahier des charges.

A. Compactage à l'aide d'un compacteur de plaque (suivant NBN EN 12697-33

Le plan de balayage à respecter est le compactage fort.

4.1.4 Démoulage et sciage

Cas des mélanges dont l'épaisseur est supérieure ou égale à 40 mm sauf les enrobés à squelette pierreux et les mélanges à squelette sableux avec bitume élastomère :

Les éprouvettes de ces mélanges restent dans les moules dans lesquelles elles ont été compactées.

Cas des enrobés à squelette pierreux et des mélanges à squelette sableux avec bitume élastomère :

Scier 10 mm+/-5 dans le pourtour de toute l'éprouvette puis sceller celle-ci à l'aide de plâtre dans un moule dont la hauteur est au minimum de 10 mm supérieure à l'épaisseur du mélange testé. Après durcissement (2 jours minimum pour le plâtre), le moule est monté sur la plaque de base.

4.2. Mesure de l'éprouvette (point Zéro).

A température ambiante, effectuer 1.000 cycles et faire la mesure du point zéro.

Déterminer la hauteur avec le pied à coulisse aux différents points de mesure (15 points de mesure suivant la norme).

Les différences de lecture avant et après l'essai permettent d'apprécier les dénivellations subies par les différents points.

4.3. Réalisation de l'essai.

- Placer l'éprouvette mesurée dans le simulateur.
- Attendre la stabilisation de la température à $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$. La température est mesurée à l'aide d'une sonde placée dans l'éprouvette à 30 mm de profondeur et à (60 ± 5) mm de l'axe longitudinal.
- Fixer la charge sur la roue à $(5 \pm 0,05)$ kN.
- Mettre le simulateur en fonction.
- Mesurer la hauteur de l'éprouvette suivant même procédé que celui décrit au § 4.2 et cela après 1.000 – 3.000 – 10.000 – 20.000 et 30.000 cycles.
- L'essai est terminé soit après les 30.000 cycles soit lorsque la profondeur d'orniérage est supérieure à 20 mm (sécurité).

Normalement un essai est constitué de deux tests exécutés sur le même produit et dans les mêmes conditions.

5. EXPRESSION DES RÉSULTATS

5.1. Calcul de la profondeur d'ornière mesurée

Calculer le pourcentage de profondeur d'ornière mesurée, P_i , pour chaque ensemble de mesures à partir des 15 valeurs de déformation locale, m_{ij} , et de l'épaisseur de l'éprouvette, h , à l'aide de l'équation suivante :

$$P_i \% = 100 - \sum_{j=1}^{15} \frac{(m_{ij} - m_{0j})}{(15 \times h)}$$

où :

P_i est le pourcentage de profondeur d'ornière mesurée (%);

M_{ij} est la déformation locale, en millimètres (mm);

M_{0j} est la mesure initiale à l'emplacement j ;

h est l'épaisseur de l'éprouvette, en millimètres (mm).

5.2. Graphique

Tracer un graphe de $\ln(P_i)$ par rapport à $\ln(N)$ pour chaque éprouvette de même composition soumise à l'essai. Exclure les valeurs du pourcentage d'ornière à N cycles de charge si une valeur de profondeur d'ornière est supérieure à 15% de l'épaisseur après N cycles de charge.

5.3. Calcul de la valeur moyenne P

Calculer la valeur moyenne P des P_i de deux éprouvettes ou plus soumises à essai, de même composition, de même niveau de pourcentage de vides et pour le même nombre de cycles N .

5.4. Détermination de la température d'essai

Calculer la température d'essai en tant que moyenne des températures enregistrées avant chaque série de mesures.

Fig. 54.18/1 : Exemple d'un malaxeur



Fig. 54.18/2 : Simulateur de trafic avec une roue en acier



54.25 MESURE EN CONTINU DE L'ORNIERAGE

54.25.A – MESURE AU MOYEN DU TUS

Références de base: «TUS: Mesure en continu du profil transversal» - Division du CETE de l'Ouest – 2 bis avenue du Général Foy – 49100 Angers (France);
«Fiche MLPC TUS – Appareil de mesure de l'uni transversal d'une chaussée par capteurs à ultrasons» - Division du CETE de l'Ouest – 2 bis avenue du Général Foy – 49100 Angers (France);
«La méthode LPC de mesure et d'interprétation du profil en travers» - Division du CETE de l'Ouest – 2 bis avenue du Général Foy – 49100 Angers (France).

1. BUT DE L'ESSAI

Caractériser l'uni transversal de la couche de roulement d'un revêtement routier.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

L'essai consiste à déterminer l'ornière caractéristique moyenne par section de 100 m. L'ornière caractéristique est la valeur brute du maximum entre la profondeur d'ornière d'axe et celle de rive. La profondeur d'ornière est égale à la distance maximale entre une règle de 1,5 m posée sur les 2 lèvres de l'ornière et le fond de celle-ci.

3. Appareillage

- a) Un transversoprofilomètre à ultrasons (TUS) conforme aux spécifications du Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC – France).
- b) Une unité de restitution destinée au traitement des données et au calcul de l'ornière caractéristique (O_c) et/ou d'autres paramètres éventuels.

4. REALISATION DE L'ESSAI

L'essai se réalise sur un revêtement propre, sec et exempt de débris. En cas de nécessité, les moyens adéquats sont mis en œuvre en vue de nettoyer celui-ci.

La vitesse de base de l'essai est de 50 km/h maximum. La conduite doit être régulière et sans à-coups pour permettre de relever un profil en travers au minimum tous les trois mètres.

La mesure est effectuée sur chaque voie de circulation.

N.B. : La présence d'eau sur le revêtement rend impossible la réalisation de l'essai.

5. EXPLOITATION DES RESULTATS

Chaque section de mesure est caractérisée par trois fichiers :

- un fichier d'identification,
- un fichier d'étalonnage (comportant les valeurs mesurées sur une surface plane de référence),
- un fichier de mesures.

Le traitement en différé de ces trois fichiers par le logiciel TUS permet la création d'un fichier résultats comportant pour chaque profil, l'abscisse de la section de la mesure, la température, un code de validité de la mesure et les paramètres de déformations transversales suivants :

- ornière caractéristique;
- déformation de rive;
- déformation hors rive;
- déformation totale;
- indice de planéité transversal;
- indice de reprofilage transversal.

L'ornière caractéristique par section hectométrique est ensuite calculée comme étant la moyenne des valeurs individuelles relatives aux profils qui la composent. Elle est exprimée en mm avec 1 décimale et arrondie, au 1/2 mm le plus proche.

N.B. : Le traitement permet également d'obtenir d'autres paramètres tels que déplanéité, bombement, indices de déformation, d'orniérage, etc ...

54.25.B – MESURE AU MOYEN DE L'ARAN.

Références de base: «ARAN: Automatic road analyser». Véhicule multifonctions permettant de réaliser en continu diverses mesures dont la mesure de profondeur S: Mesure en continu du profil transversal» - Division

1. BUT DE L'ESSAI

Caractériser l'uni transversal de la couche de roulement d'un revêtement routier.

2. PRINCIPE DE LA MESURE DU PROFIL TRANSVERSAL ET DE LA PROFONDEUR D'ORNIERE

L'essai consiste à relever en continu le profil transversal à vitesse variable (max. 90 km/h). La largeur de voie auscultée est ajustable par pas de 10 cm et comprise entre 1m90 et 3m60. Les profils sont mesurés à intervalles constants déterminés par l'opérateur (min. 1m). Les profils sont relevés à l'aide de capteurs ultrasoniques espacés de 10 cm et fixés sur une rampe de largeur variable. La précision de la mesure est de l'ordre de 1 mm.

En plus du profil transversal une plate-forme inertielle permet de mesurer les angles de tangage et de roulis du véhicule. Ceux-ci sont utilisés pour calculer le profil vrai de la route.

Le traitement de ces données permet de calculer les profondeurs d'ornières droite et gauche selon la méthode développée par le fournisseur de l'appareillage ou celle du CRR. Elles se basent toutes deux sur la méthode du fil tendu. La méthode du CRR procède en plus à un prétraitement de validation du profil.

3. APPAREILLAGE

- Le transversoprofilomètre de l'ARAN équipé de capteurs ultrasoniques conformes aux spécifications de Roadware.
- Une plate-forme inertielle (2 gyroscopes)
- Un PC embarqué pour l'acquisition et le stockage des données
- Divers logiciels pour le calcul des profondeurs d'ornières droite et gauche selon les différentes méthodes de calculs.

4. REALISATION DE L'ESSAI

Avant chaque campagne d'essais, on procède à :

- vérification et étalonnage de la rampe de mesure,
- étalonnage de l'odomètre,
- vérification du bon fonctionnement des gyroscopes,

conformément au mode opératoire du véhicule.

L'essai se réalise par temps sec sur un revêtement propre.

L'étendue de la rampe est adaptée à la largeur de voie auscultée et aux conditions de trafic.

Etant donné le principe de la mesure, le conducteur de l'ARAN peut généralement² Adapter sa vitesse aux conditions de trafic en évitant toutes variations brusques de direction et de vitesse.

5. EXPLOITATION DES RESULTATS

L'ensemble des données récoltées lors de l'essai est contenu dans un fichier unique. Après divers traitements informatiques de ce fichier, nous obtenons pour chaque station transversale de mesure :

- la cumulée,
- l'angle de tangage,
- le dévers,
- les profondeurs d'ornière droite et gauche,
- les valeurs individuelles fournies par chaque capteur.

Les valeurs sont alors présentées sous forme de texte et/ou de graphiques en fonction de l'objet de la demande à choisir parmi les éléments suivants :

- valeurs d'ornières droite et gauche en fonction de la cumulée au format texte,
- ces mêmes valeurs moyennées par blocs de longueur fixe au format texte,
- valeurs d'ornières droite et gauche en fonction de la cumulée sous forme de graphique,
- la moyenne glissante des ornières droite et gauche sous forme d'un graphique,
- des profils transversaux sous forme de graphiques.

Note :

- sur base des mêmes mesures, une reconstruction tridimensionnelle de la route permet de déterminer les zones de rétention et de fort débit d'eau,
- les mesures peuvent être couplées à un enregistrement vidéo de la chaussée.

² A moins qu'un autre essai réalisé simultanément n'impose une vitesse constante, comme par exemple l'APL.

54.26 PORTANCE (DEFLEXION DU REVETEMENT AU PASSAGE D'UN ESSIEU) (version 06/2012)

Pour effectuer la mesure de la déflexion d'une chaussée souple, trois appareils peuvent être utilisés:

- A. Le curviamètre ;**
- B. Le déflectographe LACROIX ;**
- C. Le déflectomètre à masse tombante (FWD).**

A. CURVIAMETRE

Références de base:

- 1) NF P98-200-7 «Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante. Détermination de la déflexion et du rayon de courbure avec un curviamètre», Décembre 1997, ISSN 0335-3931.
- 2) M. du MESNIL-ADELEE, J. PEYBERNARD. Traitement automatique des résultats de mesure en continu. Application aux mesures de déflexion. Bull. liaison Labo P. et Ch. 130, mars-avril 1984, pp 76-81.

1. BUT DE L'ESSAI

Evaluer la portance résiduelle à partir des mesures de la déflexion et du rayon de courbure données par un appareil de mesure appelé curviamètre.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Appareil roulant à 18 km/h (5m/s) et mesurant, à intervalles réguliers (par pas de 5 m) et à l'aide de géophones fixés sur une chenille, la déflexion et le rayon de courbure de la chaussée sous son jumelage arrière droit.

La mesure de la déflexion provoquée par la charge roulante se rapprochant du point de mesure est faite en un point donné de la chaussée correspondant à l'endroit où est déposé le géophone.

A partir du signal fourni par le géophone, on calcule:

- l'accélération du géophone;
- la déflexion par double intégration du signal d'accélération du géophone;
- la déflexion maximale;
- le rayon de courbure au maximum de la déflexion.

Ces calculs se font en cours de mesures.

3. APPAREILLAGE

Le curviamètre (référence 1) construit par le Centre expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux publics français (CEBTP) permet la mesure en continu et rapide de la déformée (en 100 points) des chaussées le long d'une frayée de mesure par le passage d'un jumelage chargé (80-130 kN, modifiable). La ligne d'influence de la déflexion ainsi mesurée démarre 1 mètre avant le jumelage pour se terminer 3 mètres après celui-ci. Une chaîne (de 15 m comprenant trois géophones) déroulante passant entre les pneus du jumelage dépose à intervalles réguliers (5 m) les géophones qui lui sont fixés. Ces géophones servent à la mesure de déflexion. Cette chaîne est asservie au mouvement du camion porteur de manière à éviter le glissement des capteurs sur la surface du revêtement ausculté tant en ligne droite qu'en virage et en fonction des pentes longitudinales de la chaussée.

Les températures moyennes de l'air et de la surface du revêtement (par radiomètre infrarouge) sont également enregistrées pour chaque mesure au géophone.

Le traitement des mesures est réalisé par une informatique embarquée. Les logiciels permettent l'obtention des lignes d'influence de la déflexion, de la déflexion maximale et du rayon de courbure à l'endroit de la déflexion maximale.

4. MODE OPERATOIRE

La procédure adoptée met en œuvre les points suivants:

- Calibrage des thermomètres (air et surface; une fois l'an).
- Ajustage de la charge à l'essieu arrière (8 à 13 tonnes) selon la demande du client. Pesage de l'essieu et des jumelages.
- Contrôle de la pression des pneus des jumelages droit et gauche (avant chaque campagne de mesure).
- Calibrage des géophones (avant chaque journée de mesure et en cas de changement d'un géophone).
- Exécution de l'essai: après démarrage du véhicule, la mesure est réalisable valablement dès que la vitesse constante de $(5 \pm 0,2)$ m/s, soit $(18 \pm 0,7)$ km/h, est atteinte et maintenue.
- En cours de mesure: enregistrement des repères (bornes kilométriques, début et fin d'ouvrage d'art, ...).

5. CALCUL

Le traitement des données et les interprétations statistiques associées sont effectués à partir des résultats livrés par l'informatique embarquée du curviamètre. Un logiciel est prévu à cet effet. Il permet:

- le lissage des déflexions à l'aide de moyennes glissantes,
- l'analyse du produit de la déflexion maximale par le rayon de courbure,
- le découpage en zones homogènes (référence 2),
- les interprétations statistiques (moyennes, écarts types et distributions des déflexions par tronçons choisis).

6. EXPRESSION DU RESULTAT

Le résultat des essais peut comprendre:

- Les fichiers des mesures individuelles comprenant les valeurs de la déflexion maximale, la largeur du bassin à mi-déflexion (λ), le rayon de courbure, les températures de surface et de l'air, la vitesse de mesure, les repères. Ces informations sont livrées sous forme de fichiers informatiques sur disquettes, chaque section faisant l'objet d'un fichier ASCII validé.
- Les graphiques des variations de la déflexion, du rayon de courbure et de leur moyenne glissante en fonction de la distance parcourue.
- Les tableaux des zones homogènes comprenant les moyennes des déflexions et déflexions caractéristiques, des écarts types de déflexion, des rayons de courbure, et les cumulées.

7. RAPPORT D'ESSAI

- Le rapport d'essai comprend l'identification de la demande et du demandeur.
- Les dates des mesures.
- La présentation des résultats décrits en 7, en tout ou en partie.

B. DEFLECTOGRAPHE LACROIX

Référence de base: Le déflectographe Lacroix, modèle 1964 par J. Hubert, Bull. liaison Labo P et Ch n° 11 de janv. – fév. 1965, pp. 1 à 28.

1. BUT DE L'ESSAI

Evaluer la portance résiduelle d'une chaussée souple en vue de déterminer sa durée de vie résiduelle et d'en calculer son redimensionnement éventuel.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Appareil roulant à (3 ± 1) km/h et mesurant, à intervalles réguliers (par pas de 3,7 m) et à l'aide d'une poutre de mesure qui à la forme d'un T munie de capteurs de déplacement, la déflexion et le rayon de courbure de la chaussée sous l'essieu arrière.

La ligne d'influence d'une charge mobile est déterminée via la mesure de la déflexion d'une chaussée souple soumise à la charge d'un essieu standard de 13 tonnes. Les extrémités du traîneau de mesure (poutre) constituant un triangle de référence. La déflexion du revêtement est égale au déplacement vertical du palpeur placé sur le bras de mesure lorsqu'il est au droit de la charge. Les déflexions sont mesurées en continu sur une distance de 1,70 m par pas de 3,70 m.

3. APPAREILLAGE

Il est fait usage d'un déflectographe LACROIX.

L'appareil de mesure est monté sous un camion dont la charge d'essieu arrière, simple à roues jumelées, peut être ajustée grâce au remplissage d'un réservoir à eau. La pression de gonflage des pneus arrière est de 7,36 bars.

L'équipement de mesure proprement dit est assemblé sur un traîneau en T composé d'une poutre et d'un pied orienté vers l'avant. Les trois extrémités du traîneau sont pourvues de patins qui, au contact avec le revêtement, déterminent le triangle de référence. La poutre du traîneau est équipée de deux bras de mesure orientés vers l'arrière et pourvus de palpeurs ; la distance entre les bras est de 1,9 mètres.

A chaque mesure de la déformation de la structure, les bras effectuent un mouvement vertical transmis aux capteurs de déplacement, via un axe de rotation horizontal.

4. REALISATION DE L'ESSAI

La mesure s'effectue par cycles; le camion se déplace à une vitesse constante se situant entre 2 et 4 km/h, et le traîneau est posé sur le sol. Au départ, ce dernier est en position avancée et les extrémités arrières des bras palpeurs sont à 1,70 m en avant de l'essieu arrière, dans l'alignement des vides présentés entre les jumelages des pneus; en fin d'essai, le camion ayant avancé, ces mêmes extrémités de bras se trouvent à la verticale de l'essieu arrière. En fin de cycle, le traîneau est remis en position de départ grâce à un mécanisme à câble. Lors du déplacement des roues, la rotation des bras de mesure autour de l'axe horizontal est transformée en courant électrique; le signal est enregistré et traité par l'électronique embarquée à bord.

Avant de débiter les mesures, les deux bras de mesure sont étalonnés. Cet étalonnage s'effectue en baissant par paliers le palpeur, au moyen d'un comparateur. La déflexion ainsi simulée et enregistrée se produit en paliers de 25/100 de mm, jusqu'à 3 mm max. Ainsi l'échelle pour les mesures est fixée et les écarts par rapport au parcours linéaire sont connus, ce qui permet d'éliminer les erreurs de mesure éventuelles.

Lors de la réalisation des essais, il faut bien garder à l'esprit que d'éventuels défauts de la chaussée peuvent fausser les résultats (notamment les pierres errantes) voire compromettre l'essai même; c'est le cas de nids de poules qui peuvent bloquer le traîneau qui risquera donc d'être brisé par les roues arrière.

5. EXPLOITATION DES RESULTATS

La déflexion est exprimée en centièmes de mm, la précision des mesures étant de $\pm 0,05$ mm. La portance résiduelle d'une section de chaussée souple auscultée à l'aide du déflectographe Lacroix est celle de la frayée la plus déformable de toute la section et est caractérisée par :

- d , la déflexion moyenne de 5 valeurs consécutives (sur une distance d'environ 20 m);
- d_m , la déflexion moyenne de 55 – 35 valeurs consécutives (sur une distance d'environ 200 – 130 m);
- d_c , la déflexion caractéristique ($d_c = d_m + 2s$) des mêmes 55 – 35 déflexions consécutives (s étant l'écart type de ces valeurs).

C. DEFLECTOMETRE A MASSE TOMBANTE (FWD)

Référence de base: Rapport final de l'action COST 336, version 2 (COST 336 «Use of Falling Weight Deflectometers in Pavement Evaluation», Final Report of the Action, European Commission, Directorate General Transport (2nd edition, April 2005).

1. BUT DE L'ESSAI

Le but de l'essai consiste à permettre d'établir sur tout type de structure (souples, semi rigides ou rigides) le profil partiel de bassins de déflexion du revêtement lorsque ce dernier est soumis à une force temporaire imprimée par une charge tombante.

La valeur de la charge imprimée au revêtement doit pouvoir être ajustable. Elle doit en outre être maîtrisée et enregistrée par le système d'acquisition. Il en va de même pour le temps durant lequel le revêtement sera mis en charge.

L'essai doit pouvoir fournir directement les valeurs de déflexion maximales enregistrées par chaque capteur.

En post traitement, ces informations conjuguées à d'autres (volume et type de trafic, épaisseurs des couches,...) permettent de procéder au calcul de durée de vie résiduelle de la chaussée et d'évaluer la rigidité des différentes couches qui la constitue. Dans la politique d'entretien de son réseau, les résultats de ces post traitements épauleront le gestionnaire quant à la nature et à la programmation des interventions éventuelles à réaliser.

Cet essai peut être réalisé sur des structures souples, semi-rigides et rigides.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

L'essai se déroule à l'arrêt. Le schéma d'auscultation classique consiste à effectuer une mesure à intervalles de 100m. Sur des courtes sections, il est recommandable que la distance entre deux stations de mesures consécutives soit réduite à 50m, 25m ou 20m.

Une charge dynamique est appliquée en disposant sur le revêtement un disque métallique sur lequel on laisse tomber une masse d'une hauteur et d'un poids déterminés.

Entre le disque et la masse, une interface en caoutchouc amortit l'impact ce qui se traduit par une mise en charge progressive du revêtement.

A chaque station de mesure, des capteurs du type géophone sont déposés simultanément et automatiquement sur le revêtement au droit et aux alentours immédiats du point d'impact. Chaque capteur, à l'endroit où il se situe, enregistre l'emprunte du fléchissement temporaire du revêtement. Le premier géophone est positionné au centre du point d'impact et les suivants, dans un alignement parfait, progressivement de plus en plus éloigné de ce point d'impact. La distance d'éloignement maximale est de 2400mm. Le signal de chaque géophone est échantillonné par le système informatique d'acquisition et enregistré sur une période de 60 ou 120ms.

Pour chaque station de mesure, le bassin de déflexion partiel est aussi reconstruit sur base de grandeurs physiques mesurées à l'aide d'un nombre minimum de 9 capteurs situés dans la zone de chargement.

La déflexion maximale est bien entendu observée à l'endroit de l'impact.

Le calcul de la déflexion maximale, celui de la force exacte imprimée au revêtement de même que le temps de mise en charge du revêtement se fait automatiquement en cours de mesures.

3. APPAREILLAGE

Il est fait usage d'un déflectomètre à masse tombante (FWD). Le FWD permet la mesure à un endroit précis d'un nombre limité de points sur la déformée des chaussées issue d'un impact de force généré par une masse importante qu'on laisse tomber sur le revêtement. Un capteur de force mesure l'impact.

Des géophones doivent se trouver aux distances suivantes du point de l'impact: 0mm, 300mm, 600mm, 900mm. On choisit les distances des autres géophones entre les distances suivantes: 200mm, 450mm, 1500mm, 1800mm, 2100mm et 2400mm. Le choix de l'emplacement des capteurs s'appuiera sur les recommandations mentionnées dans le rapport final de l'action COST 336 et les positions retenues doivent être mentionnées dans le rapport d'essais.

Les températures moyennes de l'air et de la surface du revêtement sont automatiquement enregistrées pour chaque station de mesure. La température à une profondeur de 40mm au sein du revêtement est mesurée ponctuellement par l'opérateur.

L'enregistrement et le traitement des informations est assuré par un système d'acquisition informatique embarqué. Il, permet de calculer la déflexion maximale mesurée par chaque géophone, de mesurer les différentes températures, de calculer la force appliquée et le temps d'application de celle-ci sur le revêtement.

4. MODE OPERATOIRE

La procédure adoptée met en œuvre les points suivants:

- vérification par comparaison avec un autre thermomètre des mesures de température enregistrées par le FWD
- calibrage des géophones (une fois par an, ou après introduction d'un nouveau géophone),
- calibrage du capteur de force (une fois tous les deux ans),
- calibrage des capteurs de température,
- vérification du bon fonctionnement des géophones sur zones de référence,
- les terrains d'application,
- les conditions d'exécution de la mesure.

Vérification des thermomètres et de la sonde de température infrarouge

En cours de mesure, les valeurs de la température de l'air affichées dans la fenêtre du logiciel d'acquisition, doivent être vérifiées par comparaison avec un simple thermomètre qui se trouve à l'extérieur, à proximité ou monté sur le FWD. Une trop grande différence entre la température mesurée par les thermomètres intégrés au FWD et affichée à l'écran et la température donnée par l'autre thermomètre doit être noté et doit faire partie des remarques mentionnées dans le rapport d'essais.

Au moins tous les deux ans, les thermomètres intégrés au FWD doivent faire l'objet d'un test de comparaison avec un autre thermomètre.

Calibrages

Les calibrages des géophones et du capteur de force doivent être assurés régulièrement par un organisme compétent. L'opérateur du FWD doit être en possession du dernier rapport de calibrage des géophones et du capteur de force de même que d'un justificatif d'un calibrage initial des thermomètres et de la sonde de température infrarouge.

Vérification des géophones

Une fois par mois une vérification de la réponse des géophones est effectuée. Deux façons de vérification sont envisageables:

- Sur un point de référence, insensible aux changements climatiques et hors d'influence d'un trafic important, une mesure classique est effectuée et comparée aux résultats issus de vérifications précédentes au même endroit. Les géophones mesurent la déflexion au même endroit sous les mêmes conditions et doivent donc donner les mêmes réponses (une faible tolérance est toutefois acceptée).
- La vérification à l'aide du «stacking tower»: les géophones sont montés et alignés verticalement sur une tour métallique, La tour est placée à proximité immédiate du FWD. L'opérateur lancera une séquence de 12 chargements du revêtement. Les géophones mesurant la déflexion au même endroit doivent donner la même réponse (à une petite tolérance près). Les documents de référence mentionnés ci-dessus décrivent la méthode de calcul à utiliser afin de vérifier les résultats obtenus et stipulent la tolérance acceptable.

Terrains d'application

Le FWD peut être utilisé sur des chaussées souples, semi-rigides et rigides, disposant ou non en surface d'enrobés bitumineux, réalisées à l'aide du béton armé continu, de plaques de béton,... . A condition de ne pas avoir de déformation plastique de la surface, le FWD peut également être utilisé sur des fondations et sous fondations en cours d'exécution d'un chantier. L'appareillage est aussi d'application sur des terrains industriels et privés, ainsi que sur des pistes et des taxiways d'aérodromes et aéroports.

Les conditions d'exécution de la mesure

Pour chaque station et quel que soit le nombre de forces retenues, un premier chargement sous forme d'une première chute de la masse sera automatiquement réalisé mais non enregistré par le système. Il s'agit du «Settle drop» destiné à mettre les matériaux «en place». Ensuite et pour chaque valeur de force retenue, le revêtement subira une séquence de minimum 2 chargements (= 2 chutes de la masse) avec enregistrement des données mesurées par les géophones.

Sur route, la force de chargement imprimée au revêtement sera comprise entre 30kN à 135kN, plage pour laquelle les géophones doivent être étalonnés. Cette force dépendra des facteurs suivants : le nombre de lest ajoutés à la masse, la hauteur à partir de

laquelle la masse sera librement lâchée, le facteur de rigidité des amortisseurs en caoutchouc (buffer) et enfin de la rigidité même de la structure auscultée. Afin d'approcher au mieux la force de chargement retenue, l'opérateur peut intervenir sur les trois premiers facteurs, à savoir, ajouter ou soustraire des lests à la masse, modifier la hauteur de chute de celle-ci et monter d'autres type d'amortisseurs de rigidité différente.

Généralement, afin d'évaluer la portance de la structure routière, la valeur de la force de référence sera égale à 50kN sur les structures souples ou semi-rigides et égale à 65kN sur une structure rigide.

Toutefois, la valeur de la force de référence doit être choisi telle qu'il soit possible de réaliser des mesures valables. Pour être considérée comme valable, une mesure doit rencontrer deux conditions. D'une part, la valeur de déflexion maximale enregistrée par le géophone à une distance de 1500 mm sera au moins de 20 μm . Si cette valeur est trop petite, la mesure doit être répétée avec une force appliquée plus élevée. D'autre part, pour chaque géophone situés à une distance maximum de 1500mm du point d'impact, la différence des valeurs de déflexions maximales enregistrées lors des 2 dernières chutes de la masse (= 2 dernières mise en charge du revêtement) n'excédera pas 5% et 10% pour les autres géophones.

Dans tous les cas, sur site et avant de procéder à l'enregistrement des données, l'opérateur adaptera si nécessaire la ou les forces de chargement de manière à rencontrer les deux critères précités. Il est recommandé de maintenir cette ou ces mêmes forces sur l'ensemble de la section de manière à permettre par la suite la détermination de zones homogènes lorsque basées sur les valeurs de déflexion.

Un système d'acquisition informatique enregistre les informations provenant de chaque géophone dans un, voire deux types de fichiers résultats. Le premier type de fichier résultat est généré d'office. On y retrouve notamment la cumulée à laquelle la mesure est réalisée, la déflexion maximale enregistrée par chaque géophone, la force réellement appliquée au revêtement, la durée de mise en charge du revêtement, différentes valeurs de températures,... . Le second type de fichier est optionnel et ne sera généré que lorsque l'opérateur en aura explicitement fait le choix. Ce second type de fichier enregistre, pour chaque chargement du revêtement, l'ensemble du signal échantillonné fourni par chacun des géophones et ce durant une période de 60 ou 120ms au choix.

Dans le cas d'un revêtement bitumineux, la température au sein du revêtement doit être mesurée régulièrement. La température au sein du revêtement bitumineux est mesurée de temps en temps en forant un trou dans le revêtement. Un liquide qui consiste à un mélange d'eau et de glycérine est introduit dans le trou et un thermomètre y est inséré. La quantité de liquide à introduire est limitée à un fond de 5 mm d'hauteur dans le trou. Il est important que l'opérateur attende un moment après avoir foré le trou (sinon on mesure le réchauffement induit par la création du trou). Cette mesure est relevée une première fois en début de chaque section auscultée.

En cours de journée, la température du revêtement évolue peu lorsque le ciel est couvert uniformément et que la température de l'air n'évolue pas de manière significative, Dans ce cas, pour un même type de revêtement, l'opérateur pourra se contenter d'un minimum de deux relevés par jour.

Dans tous les autres cas, lorsque la température de l'air évolue de manière significative en cours de journée ou que la nature du revêtement change ou encore lorsque le revêtement ne subit plus directement l'ensoleillement (zones ombragées,...) on multipliera la fréquence de ces relevés jusqu'à, dans le moins favorable des cas, procéder à un relevé toutes les 10 stations de mesure. Il est confié à l'opérateur le soin d'évaluer sur place la fréquence de ces relevés.

Si les auscultations sont réalisées durant la nuit, le nombre de relevés de température au sein du revêtement peut être réduit.

Pour tous les types de revêtements, les essais ne sont valables que s'ils sont réalisés à une température de surface supérieure ou égale à 5°C. Pour les revêtements bitumineux uniquement, ils ne peuvent pas être réalisés si la température de surface est supérieure à 32°C, ou si la température moyenne journalière a excédé 25°C au cours des 72 heures écoulées.

Typiquement les points de mesures sont situés dans la frayée droite de la voie de la route. Si les points de mesures sont situés dans l'axe central de la voie, le rapport d'essai doit en faire compte. Dans le cas d'un revêtement en dalles de béton les stations de mesures (c.-à-d. les endroits où la charge est appliquée) sont typiquement situées au milieu des dalles. Dans le cas d'un revêtement en dalles de béton le rapport d'essai doit faire compte de la position des stations de mesure par rapport aux dalles.

5. Calcul

Le toilettage des mesures consiste à une transformation à posteriori des fichiers générés pendant les mesures. On met en tableau les résultats de mesure pour chaque point ausculté. Ces résultats comprennent pour chaque point de mesure:

- la déflexion maximale,
- les déflexions mesurées par tous les géophones,
- les températures mesurées,
- la valeur mesurée de la force appliquée,
- la durée mesurée de l'application de la force («pulse time»), et
- une identification de l'endroit ausculté.

A partir de ces mesures, il est possible de déterminer les «zones homogènes». Typiquement on étudie la variation des déflexions mesurées aux points consécutivement auscultés. Les documents de référence mentionnés ci-dessus décrivent une méthode de détermination de zones homogènes.

Afin de pouvoir comparer les mesures de déflexion de tous les points auscultés, il est préférable de «normaliser» les valeurs observées avec la formule suivante:

$$D_n = (D_a / F_a) \cdot F_n$$

avec:

D_n la déflexion normalisée,
 D_a la déflexion auscultée,
 F_a la force appliquée, et
 F_n la force de référence.

Dans la procédure de la détermination de zones homogènes prévue dans le rapport final de l'action COST 336 les «déflexions cumulées» sont calculées à partir des déflexions normalisées. La détermination des zones homogènes se fait à partir du graphe donnant les déflexions cumulées en fonction de la distance de mesure. La pente de la polygonale reliant les points du graphe est descendante lorsque la déflexion locale est supérieure à la déflexion moyenne. Inversement, si la pente est ascendante, la déflexion locale est inférieure à la déflexion moyenne. La valeur de la pente est une mesure de l'écart par rapport à la moyenne. Une section pour laquelle la pente est constante peut être considérée comme une zone homogène. Afin de bien délimiter les zones homogènes, il est utile de vérifier aussi les valeurs de la déflexion maximale dans les tableaux de mesures.

6. Expression du résultat

Le résultat des essais doit comprendre:

- les fichiers générés pendant les mesures,
- les tableaux et les graphiques issues de la phase de toilettage, décrit en paragraphe 5,
- les zones homogènes issues de la phase d'analyse décrite au paragraphe 5.

7. Rapport d'essai

Le rapport d'essai comprend l'identification de la demande et du demandeur, les dates des mesures, la présentation des résultats décrit en paragraphe 6, en tout ou en partie. Le rapport d'essai mentionne aussi toutes les observations utiles consignées en cours de mesure par les opérateurs du FWD.

54.27 PRELEVEMENT DES MELANGES HYDROCARBONES (VRACS) (version 06/2012)

Réf. de base: NBN EN 12697-27 (février 2001) + EN 12697-27:2001/prA1:2006:
Mélanges bitumineux – Essais pour enrobés à chaud. Partie 27: Echantillonnage.

1. BUT DE L'ESSAI

Prélever les matériaux hydrocarbonés après leur fabrication ou pendant la mise en œuvre.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

La méthode consiste à prélever un échantillon représentatif de la quantité totale de matériaux à examiner et permettant d'effectuer les essais, principalement de granulométrie, de teneur en liant et de maniabilité.

3. DEFINITIONS

Les définitions suivantes s'appliquent:

Prise élémentaire: Quantité unique de matériau prélevée sur une plus grande quantité de matériau à examiner.

Echantillon: Un échantillon est obtenu en combinant des prises élémentaires en quantité suffisante pour réaliser tous les essais projetés.

Echantillon représentatif: Echantillon composé d'un nombre spécifique de prises élémentaires afin de représenter une quantité ou surface donnée du matériau. Un échantillon représentatif est supposé présenter la même composition que le matériau échantillonné, dans les limites de précision associées à la méthode d'échantillonnage.

Echantillon de laboratoire: Echantillon fourni au laboratoire; il peut s'agir de tout ou partie de l'échantillon ou de l'échantillon représentatif et il doit être en quantité suffisante pour permettre d'effectuer tous les essais requis.

4. APPAREILLAGE

- pelle à sable utilisée couramment par les asphalteurs, écope ou toute autre outil similaire;
- boîtes métalliques (à l'intérieur lisse) d'une capacité de 5 litres maximum, avec couvercles;
- sacs en papier permettant de prélever au maximum 10 kg d'enrobés.
- plaque résistante à la chaleur d'environ 1 m de côté.

5. MODE OPERATOIRE

5.1. Echantillonnage de matériaux à la centrale d'enrobage (prélèvement au skip³).

5.1.1. Pour les matériaux contenant des granulats de dimension inférieure ou égale à 14 mm, effectuer, à l'aide de la pelle, au moins deux prises élémentaires de matériaux d'environ 2 kg chacune. Dans le cas où l'essai de maniabilité à la PCG (presse à cisaillement giratoire) est également réalisé, la prise d'échantillon est constituée au moins de trois prises élémentaires d'environ 3 kg chacune.

³ Skip : bac récoltant la gâchée dans une centrale en discontinu

5.1.2. Pour les matériaux contenant des granulats de dimension supérieure à 14 mm, effectuer, à l'aide de la pelle, au moins deux prises élémentaires de matériaux d'environ 3 kg chacune. Dans le cas où l'essai de maniabilité à la PCG (presse à cisaillement giratoire) est également réalisé, la prise d'échantillon est constituée au moins de trois prises élémentaires d'environ 7 kg chacune.

5.1.3. Effectuer les prises élémentaires à environ 100 mm sous la surface du matériau, à des emplacements les plus espacés possibles les uns des autres mais à au moins 300 mm des bords du skip.

5.1.4. Combiner les prises élémentaires ainsi obtenues pour former l'échantillon.

5.2. Echantillonnage dans la benne d'un camion.

5.2.1. Pour les matériaux contenant des granulats de dimension inférieure ou égale à 14 mm, effectuer, à l'aide de la pelle, au moins trois prises élémentaires de matériau, d'environ 2 kg chacune. Dans le cas où l'essai de maniabilité à la PCG (presse à cisaillement giratoire) est également réalisé, la prise d'échantillon est constituée au moins de trois prises élémentaires d'environ 3 kg chacune.

5.2.2. Pour les matériaux contenant des granulats de dimension supérieure à 14 mm, effectuer, à l'aide d'une pelle, au moins trois prises élémentaires de matériau, d'environ 3 kg chacune. Dans le cas où l'essai de maniabilité à la PCG (presse à cisaillement giratoire) est également réalisé, la prise d'échantillon est constituée au moins de trois prises élémentaires d'environ 7 kg chacune.

5.2.3. Effectuer les prises élémentaires à environ 100 mm sous la surface du matériau, à différents emplacements les plus espacés possibles les uns des autres mais à au moins 300 mm des bords du camion. Retirer tout le matériau de surface, y compris les agglomérats, susceptibles de tomber dans le trou.

5.2.4. Combiner les prises élémentaires ainsi obtenues pour former l'échantillon.

Note 1: Le nombre de prises élémentaires indiqué ci-dessus est un minimum, il faut peut-être davantage dans certains cas.

Note 2: Avec des matériaux moins cohérents, il est recommandé d'utiliser une plaque métallique, poussée dans le matériau, pour faciliter le creusage à 100 mm de profondeur tout en empêchant les matériaux de surface de tomber dans le trou.

Note 3: Cette méthode présente les avantages suivants:

- a) un risque très faible d'atteinte à la sécurité du personnel chargé de l'échantillonnage;
- b) une facilité d'échantillonnage;
- c) le fait qu'elle ne nécessite aucun équipement particulier.

Elle présente les inconvénients suivants:

- a) un risque que l'échantillon ne soit pas représentatif, du fait de la ségrégation en cours de chargement et de transport;
- b) une incertitude sur l'emplacement précis du matériau sur la chaussée;
- c) le fait que l'échantillon soit prélevé à partir d'une quantité limitée de matériau.

5.3. Echantillonnage du matériau situé autour des vis du finisseur.

5.3.1. Pour les matériaux contenant des granulats de dimension inférieure ou égale à 14 mm, effectuer, à l'aide de la pelle, au moins deux prises élémentaires de matériau, d'environ 2 kg chacune. Dans le cas où l'essai de maniabilité à la PCG (presse à cisaillement giratoire) est également réalisé, la prise d'échantillon est constituée au moins de deux prises élémentaires d'environ 3 kg chacune.

Prélever les prises élémentaires uniquement lorsque les vis sont chargées sur toute la longueur. Une prise élémentaire est prélevée en poussant complètement la pelle dans la charge de matériau, devant la vis, et en la retirant quand elle est pleine.

5.3.2 Pour les matériaux contenant des granulats de dimension supérieure à 14 mm, effectuer, à l'aide de la pelle, au moins trois prises élémentaires de matériau, d'environ 3 kg chacune. Dans le cas où l'essai de maniabilité à la PCG (presse à cisaillement giratoire) est également réalisé, la prise d'échantillon est constituée au moins de trois prises élémentaires d'environ 7 kg chacune.

Prélever les prises élémentaires uniquement lorsque les vis sont chargées sur toute la longueur. Une prise élémentaire est prélevée en poussant complètement la pelle dans la charge de matériau, devant la vis, et en la retirant quand elle est pleine.

5.3.3 Combiner les prises élémentaires ainsi obtenues de façon à former un échantillon.

Note 1: Lorsque l'accès est difficile en raison de la structure du finisseur, il est possible d'utiliser une pelle métallique munie d'un manche d'environ 2 m de long.

Note 2: Cette méthode présente les avantages suivants:

- a) une certitude d'emplacement du matériau sur la chaussée;
- b) aucune interruption dans les opérations de pose;
- c) une facilité d'échantillonnage;
- d) le fait qu'elle ne nécessite aucun équipement particulier.

Elle présente les inconvénients suivants:

- a) un risque de ségrégation aux extrémités des vis;
- b) un risque de ségrégation si la vis n'est pas remplie correctement;
- c) un risque pour la sécurité du personnel chargé de l'échantillonnage;
- d) le fait que cette méthode ne soit applicable que si le matériau est accessible des deux côtés du finisseur.

5.4 Echantillonnage de matériaux mis en œuvre mais non compactés.

5.4.1. Cette méthode ne peut pas être utilisée dans les cas suivants:

- a) dans le cas des couches des couches de roulement
- b) dans le cas de mélanges où la différence entre l'épaisseur posée et le diamètre maximal des pierres est moins de 20 mm

5.4.2. Prélever, au moyen d'une pelle d'échantillonnage, trois prises élémentaires d'environ 3 kg de chaque côté du tapis posé par le finisseur (à environ 1 m de chaque bord) et au milieu de la bande posée. Dans le cas où l'essai de maniabilité à la PCG (presse à cisaillement giratoire) est également réalisé, la prise d'échantillon est constituée au moins de trois prises élémentaires d'environ 7 kg chacune.

5.4.3. Combiner les prises élémentaires ainsi obtenues pour former l'échantillon.

Note: Cette méthode présente les avantages suivants:

- a) localisation certaine du matériau dans le revêtement;
- b) risque minimal de ségrégation;

6. PREPARATION, MARQUAGE ET EMBALLAGE DES ECHANTILLONS DE LABORATOIRE

6.1. Préparation.

Sur une plaque d'environ 1 m de côté, déposer les prises élémentaires, homogénéiser à l'aide de la pelle et prélever la quantité nécessaire pour former l'échantillon de laboratoire.

L'échantillon de laboratoire est placé dans une ou plusieurs boîtes métalliques de 5 litres maximum munies de couvercles ou dans un sac en papier.

6.2. Rapport d'échantillonnage.

Chaque échantillon ou conteneur doit porter un marquage clair et être accompagné d'un rapport d'échantillonnage contenant au moins les informations suivantes:

- a) contrat/projet;
- b) emplacement;
- c) numéro de référence de l'échantillon;
- d) date et heure de l'échantillonnage;
- e) type de matériau;
- f) fabricant (s'il est connu);
- g) maître d'œuvre;
- h) signature du responsable de l'échantillonnage;
- i) nom du responsable de l'échantillonnage, en majuscules.

6.3. Emballage.

Les échantillons de mélanges bitumineux doivent être conditionnés dans les boîtes métalliques ou dans des sacs en papier de façon à ce que les matériaux échantillonnés ne subissent aucune contamination ni aucun endommagement.

54.28 PREPARATION DES MELANGES HYDROCARBONES

(version 06/2012)

Réf. de base: NBN EN 12697-28:2001 - Mélanges bitumineux – Essais pour enrobés à chaud - Partie 28: Préparation des échantillons pour la détermination de la teneur en liant, de la teneur en eau et de la granularité.

1. BUT DE L'ESSAI

Préparer les échantillons de mélanges hydrocarbonés pour la réalisation des essais requis.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Au départ de l'échantillon représentatif, préparer l'échantillon d'essai par la méthode de réduction obtenue par quadripartition.

3. DEFINITION

Echantillon de laboratoire: Echantillon fourni au laboratoire; il peut s'agir de tout ou partie de l'échantillon représentatif et il est recommandé qu'il soit en quantité suffisante pour permettre d'effectuer tous les essais requis.

Prise d'essai: Partie de l'échantillon de laboratoire à utiliser pour une méthode d'essai spécifique et produisant un résultat d'essai unique.

Echantillon d'essai: Partie de la prise d'essai sur laquelle est effectué un essai unique. Plusieurs essais peuvent être nécessaires pour produire un résultat d'essai.

Résultat d'essai: Résultat obtenu en appliquant le mode opératoire d'essai à une prise d'essai. Lorsque le mode opératoire doit être effectué sur plusieurs échantillons, le résultat d'essai est calculé en tant que résultat moyen d'un certain nombre de déterminations.

4. APPAREILLAGE

- balance;
- étuve;
- outils divers (pelle, spatule, truelle, ...);
- plaques en acier ou en faïence;
- récipients divers.

5. MODE OPERATOIRE

5.1. Contrôle préliminaire.

Dès réception, contrôler l'échantillon de laboratoire et relever son état et sa masse.

5.2. Pré-traitement de l'échantillon de laboratoire prélevé avant et en cours de mise en œuvre.

5.2.1. Migration du liant

Si une migration du liant s'est produite, le noter, recueillir et peser le plus de matériau égoutté possible. Lorsque l'échantillon de laboratoire a été réduit à une taille correcte pour les essais, ajouter à la prise d'essai une fraction pondérée, proportionnelle, représentative du matériau égoutté. Si le matériau drainé ne peut être recueilli, le noter.

5.2.2. Granulat non enrobé

Noter la présence de tout granulat non enrobé ou cassé mais sans retirer ces granulats.

5.3. Traitement thermique avant réduction de l'échantillon de laboratoire.

Pour les échantillons de laboratoire ne pouvant pas être mélangés à nouveau à température ambiante, procéder comme suit:

Chauffer dans une étuve tout le matériau ou la couche séparée à analyser. La température ne peut dépasser les valeurs indiquées au tableau 1, afin que l'enrobé soit suffisamment mou pour être facilement mélangé et divisé sans toutefois dégrader le liant. Ne pas laisser le matériau dans l'étuve pendant plus de 4 h.

Note: la contrainte de température consiste à minimiser la perte de constituants volatiles du liant.

Grade du liant dans l'échantillon Pénétration à 25 °C	Température maximale de l'étuve (°C)
> 330	105
de 60 à 330	120
de 25 à 60	135
< 25	150

Tableau 1: Températures de l'étuve pour réchauffage des échantillons de laboratoire préalablement à la réduction d'échantillon.

5.4. Réduction de l'échantillon pour la détermination de la teneur en liant et de la granularité.

5.4.1. Peser la totalité de l'échantillon de laboratoire et le poser sur une surface dure et propre, par exemple un plateau en tôle. Mélanger le matériau avec soin et le réduire jusqu'à la quantité requise pour l'essai, comme indiqué au tableau 2, grâce à un échantillonnage par quadripartition.

NOTE

- 1 A supposer qu'il y ait une subdivision équivalente de l'échantillon de laboratoire après chaque procédé de quadripartition, il est possible, en pesant l'échantillon d'origine, d'estimer si la masse restant après la quadripartition est comprise dans la plage indiquée tableau
- 2 Si la masse estimée se trouve au-dessus de la limite supérieure, la masse de l'échantillon d'origine peut être réduite d'un quart. Il est recommandé d'effectuer la quadripartition à deux reprises, en rejetant deux quarts opposés du second processus de quartage et en combinant le reste du second processus de quadripartition au matériau écarté du premier processus, puis en suivant le mode opératoire décrit aux §§ 5.4.2 à 5.4.8.

Type de matériau	Taille maximale du granulat dans le matériau (mm)	Masse de la prise d'essai pour chaque détermination (g)
Mélange bitumineux	50	3 000 à 5 000
	32	1 500 à 2 800
	25	1 000 à 2 000
	20	1 000 à 2 000
	14	800 à 1 400
	10	300 à 1000
	7	300 à 1000
	4	250 à 500
Gravillons préenrobés	Toutes tailles	2 000 à 3 000

Tableau 2 : Masse de matériau pour chaque détermination.

5.4.2. Mélanger soigneusement le matériau en formant un cône et en tournant pour former un nouveau cône, à trois reprises, selon les descriptions des paragraphes suivants.

5.4.3. Former un tas conique en déposant le matériau au sommet du cône. Répartir le matériau roulant sur les côtés le plus régulièrement possible, de sorte que le centre du cône ne se déplace pas. Repousser au bord du tas les agglomérats grossiers, susceptibles de s'éparpiller autour de la base.

5.4.4. Aplatir le troisième cône formé à partir de l'échantillon mélangé par insertions verticales répétées du bord d'une pelle ou d'une planche, en commençant par le centre puis en progressant autour du cône, en soulevant la pelle ou la planche hors du matériau après chaque insertion.

5.4.5. Veiller à ce que le tas ainsi formé ait une épaisseur et un diamètre réguliers et à ce que son centre coïncide avec celui du cône d'où il provient.

5.4.6. Partager le tas en quatre parts égales le long de deux lignes perpendiculaires. Mélanger une paire de quarts, diamétralement opposés, et remettre le reste dans la boîte pour essai complémentaire ou contre-essai éventuel.

5.4.7. Répéter les opérations des §§ 5.4.2 à 5.4.6 jusqu'à ce que la masse restante soit à peu près quatre fois égale à celle de l'échantillon requis pour l'essai. Le cas échéant, recommencer à nouveau et mettre de côté les deux quarts qui, autrement, seraient jetés, dans un conteneur étanche, afin d'estimer leur teneur en eau. Toutefois, si la teneur en liant et donc en eau doit être calculée par la méthode d'extraction à chaud, rejeter ces quarts.

5.4.8. Répéter les opérations des §§ 5.4.2 à 5.4.6 encore une fois pour obtenir l'échantillon requis pour les essais.

Note 1: L'utilisation, pour la quadripartition, d'une croix en bois ou en tôle introduite à travers le tas, facilite souvent cette opération, dans les cas où le matériau est susceptible de ségrégation.

Note 2: Si le liant égoutté a été recueilli lors du premier traitement de l'échantillon (voir 5.2.1), il convient d'adjoindre une quantité proportionnelle de liant aux échantillons prélevés pour l'essai.

5.5. Réduction de l'échantillon pour effectuer les autres essais requis.

Se conformer aux différents modes opératoires correspondants aux essais requis.

54.31 CAPACITE DE DURCISSEMENT (Enrobés stockables)

1. BUT DE L'ESSAI

Contrôler le durcissement d'un échantillon d'enrobé à froid après exposition à l'air à une température déterminée.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

On détermine la perte de masse d'un échantillon d'enrobé à froid après un séjour dans une étuve à 110°C.

3. APPAREILLAGE

- balance permettant de peser 1000g à 0,01g près;
- plaque métallique avec bord, d'environ 200mm de diamètre;
- étuve réglée à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.

4. MODE OPERATOIRE

Prélever (1000 ± 50) g d'enrobé à froid et placer ce matériau sur la plaque métallique propre et sèche qui a été préalablement pesée avec une précision de $\pm 0,01\text{g}$. Soit M_0 la masse de la plaque.

Peser la plaque métallique avec l'enrobé à froid (masse M_1).

Laisser sécher la plaque avec l'enrobé à froid durant $(24,0 \pm 0,5)$ h à température ambiante.

Peser ensuite l'ensemble (masse M_2).

Placer la plaque avec l'échantillon à tester dans l'étuve à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ durant $(72,0 \pm 0,5)$ h.

Déterminer ensuite à nouveau la masse (masse M_3).

5. CALCUL

Soit V_1 la perte de masse en % après séchage durant 24 heures à température ambiante.

$$V_1 = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \cdot 100$$

Soit V_2 la perte de masse (en %) après séchage durant 72 heures à l'étuve à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.

$$V_2 = \frac{M_1 - M_3}{M_1 - M_0} \cdot 100$$

où :

M_0 = tare de la plaque (g)

M_1 = masse de la plaque et de l'échantillon (g)

M_2 = masse de la plaque et de l'échantillon après 24h à température ambiante (g)

M_3 = masse de la plaque et de l'échantillon après 72h à l'étuve à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ (g)

6. EXPRESSION DU RESULTAT

Le résultat est la moyenne arithmétique, exprimée avec 2 décimales, de 2 déterminations qui en valeur absolue ne s'écartent pas de plus de 0,5 % de la moyenne.

Si ce n'est pas le cas, exécuter deux nouveaux essais.

Le rapport mentionne les résultats individuels des valeurs V_1 et V_2 ainsi que leurs moyennes respectives.

54.32 SENSIBILITE AU GEL (Enrobés stockables)

Référence : Cahier des charges type RW99.

1. BUT DE L'ESSAI

Déterminer l'influence des variations de température sur l'adhérence d'un enrobé à froid et son système d'accrochage sur un revêtement bitumineux existant.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Compacter un enrobé à froid sur un enrobé type BB4-C, le soumettre à des cycles gel-dégel et contrôler l'adhérence.

3. Appareillage

- balance permettant de peser 2000g à 0,01g près;
- malaxeur pour enrobés : contenance 5 l;
- four permettant d'atteindre 220°C;
- dame de compactage Marshall;
- matériaux permettant de confectionner un enrobé type BB4-C;
- émulsion à tester;
- banc d'essai permettant d'exercer un effort de traction avec une vitesse de 2,0 mm/min.;
- colle époxy;
- armoire climatique permettant de programmer des cycles de température ou système équivalent;
- matériel d'isolation et collier de serrage.

4. MODE OPERATOIRE

Confectionner 2 échantillons support de type BB4-C de 4 cm d'épaisseur suivant le § 4.1 du CME 54.16. Les enduire de 1,5 g d'émulsion.

Compacter dessus 300 g de l'enrobé à froid au moyen de la dame Marshall (50 coups).

Après 7 jours de durcissement à l'air, appliquer le système d'isolation contre le gel sur la face latérale de l'éprouvette en utilisant le collier de serrage.

Placer les deux éprouvettes dans l'armoire climatique et réaliser 14 cycles gel-dégel comportant 14 heures à ($-15^{\circ} \pm 0,5$) °C suivies de 10 heures à ($18 \pm 0,5$) °C.

Enlever avec précaution l'enveloppe de l'éprouvette et poursuivre les essais à température ambiante comme indiqué ci-après :

- Exercer avec le plat de la main une pression latérale sur l'enrobé à froid de la première éprouvette. Celle-ci doit rester collée au mélange type BB-4C.
- Coller les deux faces de la deuxième éprouvette au moyen de colle époxy aux plateaux du banc de traction.
- Exercer un effort de traction à la vitesse de 2 mm/min jusqu'à la rupture. L'adhérence est satisfaisante si la rupture ne se produit pas à l'interface entre le type IV C et l'enrobé à froid, mais bien dans l'enrobé à froid.

5. EXPRESSION DU RESULTAT

Noter où s'est produit la rupture.

Noter la température d'essai.

54.33 DRAINABILITE (ENROBES DRAINANTS DECOLMATES)

Voir méthode CME 54.23.

54.34 RESISTANCE AU DESENROBAGE (Enrobés stockables)

1. BUT DE L'ESSAI

Contrôler l'influence de l'eau ou d'une solution d'eau salée sur un échantillon d'enrobé à froid.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Déterminer visuellement si un échantillon d'enrobé à froid est sensible au désenrobage sous l'action de l'eau bouillante d'une part et d'une solution d'eau salée d'autre part.

3. APPAREILLAGE

- deux erlenmeyers de 250 ml;
- balance permettant de peser 1000 g à 0,01 g près;
- dispositif de chauffage (bec bunsen ou plaque électrique);
- une solution constituée de (10 % en masse de paillettes de CaCl_2 dans l'eau).

4. MODE OPERATOIRE

Prendre 2 x 50 g d'enrobé à froid et placer ces 2 échantillons dans 2 erlenmeyers.

Remplir le 1^{er} erlenmeyer de 100 ml d'eau bouillante et faire bouillir l'eau avec l'échantillon pendant encore 1 minute. Contrôler si un désenrobage se produit.

Remplir le 2^{ème} erlenmeyer avec la solution aqueuse de CaCl_2 et laisser reposer pendant 7 jours.

Contrôler alors le degré de désenrobage.

5. EXPRESSION DU RESULTAT

Noter pour chaque solution utilisée, suivant la quantité de bitume qui s'est déposée sur les parois de l'erlenmeyer ou qui flotte dans l'eau, le degré de désenrobage :

- pas de désenrobage;
- désenrobage léger (irrisation à la surface moins de 1/3 de la surface supérieure);
- désenrobage important (dépôt sur les parois de l'erlenmeyer).

54.35 STABILITE (Enrobés stockables)

1. BUT DE L'ESSAI

Contrôler si un enrobé à froid, après compactage et durcissement, est encore sensible aux déformations.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Déterminer le changement de forme d'un échantillon d'enrobé à froid compacté et durci, après un séjour au repos et après flexion sous son propre poids.

3. APPAREILLAGE

- un moule métallique en 5 parties, de dimensions suivantes: 40 mmx160 mmx40mm (lxLxH);
- une dame à base carrée 30 mm x 30 mm;
- 2 appuis, distants de 140 mm l'un de l'autre, d'une hauteur de 40 mm;
- un chronomètre.

4. Mode opératoire

Remplir le moule métallique avec l'enrobé à froid en 3 couches, en compactant chaque fois avec la dame métallique, de façon à obtenir une éprouvette ayant la forme d'une poutre.

Laisser l'éprouvette durcir pendant 72 heures dans le moule.

Enlever ensuite les parois du moule métallique.

Après 10 jours, contrôler visuellement si la forme de l'éprouvette est restée la même.

Noter le degré de déformation: aucun, déformation légère, moyenne ou dégradation totale.

S'il n'y a pas eu de déformation, ou seulement une faible déformation, placer l'éprouvette sur les 2 points d'appui, distants de 140mm.

Chronométrer le temps nécessaire pour que l'éprouvette se rompe par fléchissement sous son poids propre. Noter ce temps en secondes.

Si l'éprouvette est suffisamment solide pour qu'il n'y ait pas rupture endéans 5 min., arrêter l'essai et noter > «5 min».

5. EXPRESSION DU RESULTAT

Indiquer dans le rapport d'essai:

- la déformation après 10 jours, en utilisant un des termes suivants: pas de déformation, légère déformation, déformation moyenne, dégradation totale;
- le temps nécessaire à la rupture de l'échantillon après flexion sous son poids propre (en secondes).

Exécuter 2 essais par échantillon d'enrobé à froid.

54.36 DELTA ANNEAU ET BILLE D'UN MASTIC BITUMINEUX

Références de base :

- StB 250 – Morteltest 4.2.
- NBN EN 12594
- EN 1427

1. BUT DE L'ESSAI

Evaluer le pouvoir rigidifiant d'un filler additionné au liant de manière à caractériser le mastic utilisé dans un enrobé hydrocarboné.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

On mesure l'augmentation du point de ramollissement $\Delta_{A\&B}$ d'un mélange bitume/filler par rapport au point de ramollissement du bitume seul.

3. APPAREILLAGE

- Appareillage prévu pour la détermination du point de ramollissement suivant NBN EN 1427.
- Bêchers d'une contenance de 250 ml.
- Etuve pouvant atteindre 220 °C.
- Balance ayant une précision de 0,01 g.

4. MODE OPERATOIRE

Peser une quantité de filler qui est mélangée à une quantité de bitume suivant les proportions prévues dans l'enrobé hydrocarboné.

Peser 30 g de filler (filler d'apport et de récupération suivant les proportions prévues dans l'enrobé hydrocarboné) à 0,01 g près dans un bécher et calculer une quantité de bitume à ajouter comme suit:

$$m_b = \frac{30 \cdot B}{F}$$

dans laquelle :

m_b = la masse de bitume à 0,01 g près;
B = le %-m du bitume prévu dans l'enrobé;
F = le %-m du filler prévu dans l'enrobé.

Placer les deux composants recouverts dans l'étuve durant 30 minutes à une température conforme aux recommandations de la NBN EN 12594 § 7.11. (Pour les bitumes normaux, la température doit être supérieure de 80 à 90 °C au point de ramollissement présumé du bitume).

Mélanger les deux composants manuellement (durant 3 minutes) à l'aide d'une petite baguette ou spatule jusqu'à ce que la température ait chuté de 25 °C.

Placer à nouveau le tout dans l'étuve durant 10 minutes et remélanger une deuxième fois. Replacer une dernière fois dans l'étuve et remélanger encore 10 minutes.

Remplir deux anneaux de l'essai de ramollissement avec le bitume et remplir les deux autres anneaux avec le mastic ; et placer ces derniers dans un frigo à environ 5 °C afin

d'éviter le plus possible la sédimentation du filler. Après une heure, couper le mastic excédentaire qui dépasse le dessus des anneaux avec une lame de couteau chaude.

Déterminer les températures de ramollissement du bitume (t_{b1} et t_{b2}) et celles du mélange bitume/filler (t_{bf1} et t_{bf2}) comme spécifié dans la norme NBN EN 1427. Pour chaque partie de l'essai, utiliser un anneau en laiton dans lequel a été versé le bitume et un anneau en laiton dans lequel a été versé le mélange bitume/filler.

Répéter l'essai dans son ensemble si :

$$|t_{b1} - t_{b2}| > 3 \text{ ou } |t_{bf1} - t_{bf2}| > 3$$

5. CALCUL

Calculer la moyenne (t_B) des deux températures de ramollissement du bitume et la moyenne (t_{BF}) des deux températures de ramollissement du mélange bitume/filler, à 0,1 °C près, suivant les formules ci-après:

$$t_B = \frac{t_{b1} + t_{b2}}{2}$$
$$t_{BF} = \frac{t_{bf1} + t_{bf2}}{2}$$

Calculer la différence $\Delta_{A \& B}$ entre ces deux moyennes à 0,5 °C près:

$$\Delta_{A \& B} = t_{BF} - t_B$$

Remarque : calcul du rapport volumique filler/bitume:

$$\frac{f}{b} = \frac{1,025}{B} \cdot \frac{F}{r_f}$$

dans laquelle :

1,025 = la masse volumique absolue du bitume à 25 °C, exprimée en g/cm^3 ;

B = le %-m du bitume prévu dans l'enrobé;

F = le %-m du filler prévu dans l'enrobé.

r_f = la masse volumique du filler, exprimée en g/cm^3 et déterminée selon la norme NBN B11-224

6. EXPRESSION DES RESULTATS

Le rapport mentionne :

- le delta anneau et bille, désigné par $\Delta_{A \& B}$, ainsi que les valeurs individuelles de t_{b1} , t_{b2} , t_{bf1} , t_{bf2} , t_B et t_{BF} ;
- le point de ramollissement t_B du bitume en °C à une décimale près;
- le rapport volumique filler/bitume (f/b);
- le type de liquide utilisé dans le bain prévu à la norme NBN EN 1427;
- l'identification de l'échantillon.

Si l'essai a été effectué avec plusieurs rapports volumiques f/b , les points de ramollissement obtenus doivent être représentés sur une courbe en fonction des rapports ou en fonction des teneurs en bitume. Lors de l'utilisation de glycérine, ceci doit être mentionné dans le rapport d'essai.

54.39 COMPACTAGE GIRATOIRE - NOUVEAU

54.40 SENSIBILITE A L'EAU - NOUVEAU

54.41 COULEUR DE L'ENROBE COLORE - NOUVEAU

**54.42 AGGREGAT D'ENROBES BITUMINEUX: % DE
GOUDRON - NOUVEAU**

**54.43 DETERMINATION DU POURCENTAGE DE VIDES
D'UN REVETEMENT HYDROCARBONE (SCORIES) -
NOUVEAU**