

Méthodes d'analyse des mélanges bitumineux



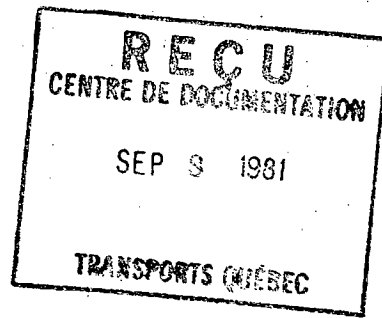
LABORATOIRE
CENTRAL

CANQ
TR
GE
RC
127



Gouvernement du Québec
Ministère des Transports

11983



METHODES D'ANALYSE
DES MELANGES BITUMINEUX
L.C.T.Q.

Réédition, mars 1981

Ministère des Transports
Centre de documentation
930, Chemin Ste-Foy
6e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

CA
CANQ
TR.
GE
RC
127

AVANT-PROPOS

Le présent recueil de méthodes d'analyse des mélanges bitumineux a été conçu dans le but d'offrir aux intéressés, techniciens, étudiants, entrepreneurs..., sous un même couvert, en français, les façons d'effectuer les essais en laboratoire sur les mélanges bitumineux.

Il a été composé par:

Côté, Michel, t.p.	Service du Laboratoire central
Langlois, Richard, ing., M.Sc.	" " "
Lelièvre, André, a.m.	" " "
Roberge, Guy, a.m.	" " "

Ces personnes étaient assistées, pour la révision, de:

Bouchard, Alain, a.m.	Service des Centres régionaux
Caron, Valère, att. adm.	" " "
Couillard, Berchmans, a.m.	" " "
Paré, Donald, ing.	" " "

La rédaction et la dactylographie des textes ont été exécutées respectivement par Guy Roberge et Francine Guillot.

Le travail de publication de cette édition 1980 a été réalisé avec le concours de la Direction des Communications.

Ces méthodes, basées sur les normes de l'ASTM (American Society for Testing Materials), sont en vigueur au ministère des Transports.

L'utilisateur est invité à envoyer ses commentaires à l'adresse suivante:

Laboratoire central
Ministère des Transports
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
G1P 3W8

TABLE DES MATIERES DES METHODES D'ANALYSE

		PAGE
*LCTQ 01	Echantillonnage du mélange bitumineux en laboratoire	1
LCTQ 02	Préparation d'éprouvettes d'essai "Marshall"	6
LCTQ 03	Méthode de mesure de la densité brute des mélanges bitumineux compactés (sur éprouvettes saturées à surface sèche)	13
LCTQ 04	Méthode "Marshall" de mesure de la résistance à la déformation des mélanges bitumineux	20
LCTQ 05	Méthode d'extraction du bitume contenu dans les mélanges bitumineux	27
LCTQ 06	Méthodes de mesure du filler minéral contenu dans l'extrait	33
LCTQ 07	Méthode de mesure de la justesse de la teneur en bitume trouvée lors de l'essai d'extraction	44
LCTQ 08	Analyse granulométrique des granulats	48
LCTQ 09	Méthode de mesure de la densité maximale des mélanges bitumineux pour revêtements routiers	52
LCTQ 10	Méthode de mesure du pourcentage de vides dans les mélanges compactés de type dense et de type ouvert	67
LCTQ 11	Méthode de calcul d'un mélange bitumineux	70

*LCTQ: Laboratoire central, Transports Québec

Echantillonnage en laboratoire

LCTQ 01

ECHANTILLONNAGE DU MELANGE BITUMINEUX EN LABORATOIRE

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur une méthode utilisée pour séparer les granulats au Laboratoire **central** des Ponts et Chaussées (LCPC - Paris 1970, Mode opératoire G-1) et sur la méthode ASTM C 702. Elle est spécifique à l'échantillonnage en laboratoire.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique à la réduction d'un échantillon de mélange bitumineux en vue d'obtenir une quantité déterminée pour un essai.

NOTE 1:

Il est indispensable que la quantité de mélange reçue en laboratoire soit supérieure à la quantité nécessaire pour les essais à effectuer. Ceci permet, soit de recommencer l'essai pour confirmer les premiers résultats, soit de compléter l'étude par d'autres essais non prévus à l'origine si le mélange présente certaines particularités.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Normes ASTM

C-702 Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size.

D-979 Sampling Bituminous Paving Mixtures.

4. RESUME DE LA METHODE

4.1 Après avoir fait chauffer l'échantillon reçu, on le passe dans un séparateur une ou plusieurs fois pour obtenir la quantité désirée pour un essai.

5. SIGNIFICATION ET EMPLOI

5.1 Cette méthode a pour but le prélèvement d'une fraction d'un matériau de telle manière que la partie prélevée soit représentative de l'ensemble du matériau. Cette partie prélevée est ensuite employée pour connaître les caractéristiques du matériau.

6. DEFINITION

6.1 La méthode d'échantillonnage, c'est le moyen de prélever une portion représentative d'un matériau.

7. APPAREILLAGE

7.1 Echantillonneur

C'est un séparateur utilisé pour diviser en deux parties égales une quantité de mélange (fig. 1 et 4). L'ouverture d'une chute doit être d'environ 38 mm.

7.2 Distributeur

Une trémie réceptrice (fig. 2) ou autre dispositif permettent de distribuer également le mélange dans le séparateur.

7.3 Balance

Elle doit avoir une capacité minimale de 10 kg et une précision de 1 gramme.

7.4 Spatule

Une spatule d'environ 200 mm de longueur et de la largeur d'une chute permet de nettoyer les chutes.

NOTE 2 - Pour faciliter l'écoulement du matériau dans le séparateur, on peut installer des lampes infrarouges qui garderont les chutes à une certaine température ou utiliser un produit anti-adhérent (ex.: huile végétale ou silicone en aérosol); cependant, ce produit ne doit pas être utilisé lorsque le bitume doit être récupéré pour analyse qualitative.

8. MODE OPERATOIRE

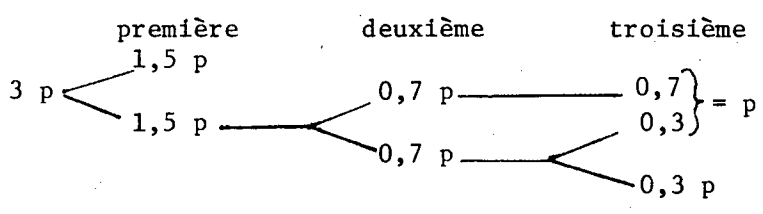
8.1 Peser l'échantillon reçu.

8.2 Chauffer l'échantillon à une température de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

8.3 Placer l'échantillon dans le distributeur et laisser écouler selon l'ouverture des chutes.

8.4 Réduire à la quantité désirée selon l'exemple suivant: On désigne "p" comme le poids nécessaire pour l'essai et "P" le poids initial.

- P ≈ 8 p Faire 3 séparations successives
- P ≈ 4 p Faire 2 séparations successives
- P ≈ 3 p Faire 3 séparations ainsi:



- P ≈ 2 p Faire une séparation
- P ≈ 1,5 p Faire les deuxième et troisième séparations comme à P ≈ 3 p
- P < 1,5 p Il est inutile de faire des séparations successives, il est préférable de prendre la totalité pour l'essai.

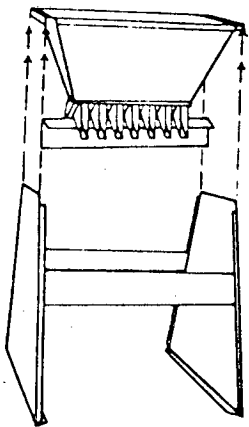


Figure 1

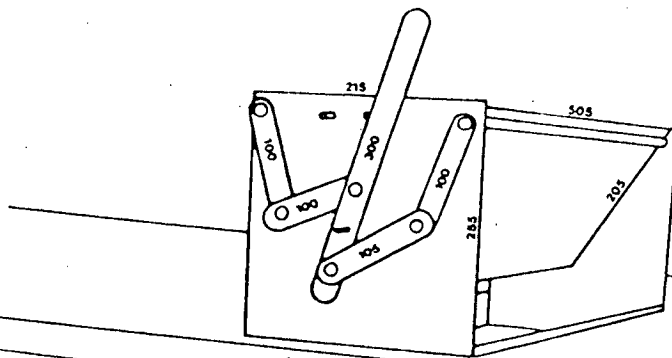


Figure 2

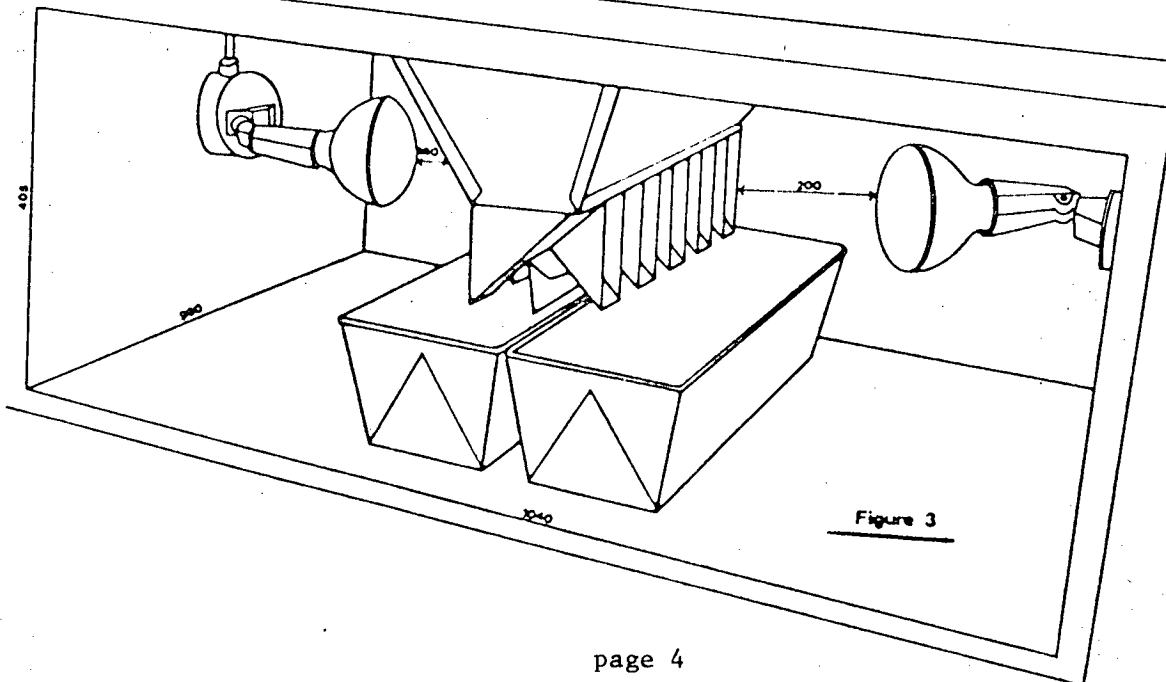


Figure 3

ÉCHANTILLONNEUR

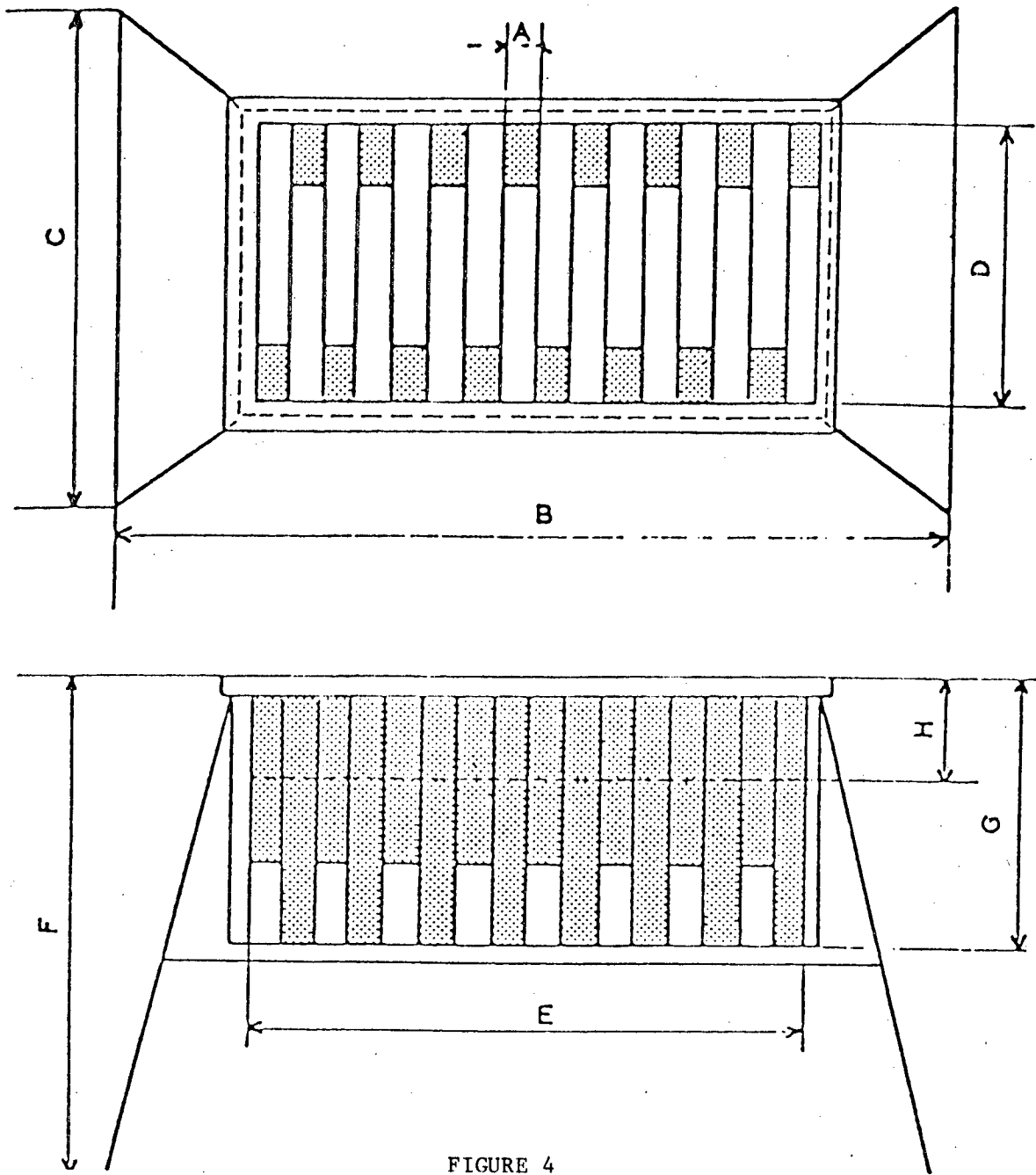


FIGURE 4

	A	B	C	D	E	F	G	H
Echantillonneur 38 mm	38	699	390	240	406	390	280	90

NOTE: Les dimensions indiquées sont celles qui sont suggérées pour un échantillonneur 38 mm.

Eprouvette "Marshall"

PREPARATION D'ÉPROUVETTES D'ESSAI "MARSHALL"

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur la norme ASTM D-1559 et spécifie le mode de préparation d'éprouvettes cylindriques "Marshall".

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique à la confection d'éprouvettes cylindriques à partir de mélanges bitumineux fabriqués en chantier ou en laboratoire. Les mélanges concernés sont ceux de granulats à grosseur maximale de 25 mm et de bitume, bitume liquide ou émulsion de bitume. Ces éprouvettes sont destinées aux mesures de densité, stabilité, déformation et au calcul des vides.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Normes ASTM

D-1559 Résistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus.

3.2 Normes LCTQ

LCTQ 01 Echantillonnage du mélange bitumineux en laboratoire.

LCTQ 03 Méthode de mesure de la densité brute des mélanges bitumineux.

LCTQ 04 Méthode "Marshall" de mesure de la résistance à la déformation des mélanges bitumineux.

4. RESUME DE LA METHODE

4.1 Elle consiste à introduire une certaine quantité de mélange, à la température requise, dans un moule et la compacter pour obtenir une éprouvette devant servir à d'autres essais.

5. SIGNIFICATION ET EMPLOI

5.1 Cette méthode a pour objet la confection d'éprouvettes de forme et volume déterminés. On emploie ces éprouvettes pour connaître les valeurs de densité brute et stabilité du mélange bitumineux.

6. APPAREILLAGE

6.1 Socle de compactage

Il doit être composé d'un montant en bois aux dimensions minimales de 200 x 200 x 450 mm et couvert d'une plaque d'acier aux dimensions minimales de 300 x 300 x 25 mm. Ce montant doit être en chêne, en pin ou autre essence de bois ayant une masse volumique moyenne de 670 kg à 770 kg/m³, et il doit être fixé à une dalle de béton par 4 équerres. Le socle doit être installé de façon que le montant soit d'aplomb et la plaque horizontale.

6.2 Moule à éprouvettes

Les cylindres de moulage, de diamètre de $101,6 \pm 0,13$ mm et d'une hauteur minimale de 76 mm, les semelles et les collets de rallonge doivent être conformes aux détails de la fig. 1. L'utilisation de trois cylindres de moulage est recommandée.

6.3 Extracteur d'éprouvettes

C'est un disque en acier ayant un diamètre d'au moins 100 mm et une épaisseur d'environ 13 mm; il sert à retirer l'éprouvette compactée du moule à l'aide du collet de moulage. On peut se servir de la presse "Marshall" pour retirer l'éprouvette; une barre est alors nécessaire pour transférer la charge du raccord du dynamomètre à anneau au collet de rallonge. On peut aussi, de préférence, utiliser un vérin hydraulique.

6.4 Dame de compactage (fig. 2)

Elle doit avoir une surface plane circulaire et un poids curseur de 4536 ± 9 g ayant une chute libre de 457 ± 2 mm. L'utilisation de deux dames est recommandée.

NOTE 1 - La dame peut être munie d'un dispositif destiné à la protection des doigts (fig. 2).

6.5 Support à éprouvettes

Il est monté sur le socle de compactage de façon à centrer le moule de compactage sur le montant. Lors du compactage, il doit maintenir en place le moule, le collet et la semelle.

6.6 Fours ou plaques chauffantes

Ils servent à porter le mélange, les moules à éprouvettes, dame de compactage et autres appareils à la température de moulage. Il est conseillé de munir ces appareils de chauffage de commandes thermostatiques afin de maintenir la température requise à 3°C près. Des écrans, des chicanes ou des bains de sable peuvent être utilisés pour réduire au minimum les surchauffes locales.

6.7 Appareils de malaxage

Dans le cas des mélanges fabriqués en laboratoire, on peut se servir de tout genre de mélangeur à condition qu'il produise dans les délais la quantité exigée d'un mélange homogène et bien enrobé et que tout le lot essentiel puisse être récupéré.

6.8 Appareillage divers

6.8.1 Récipients pour chauffer les matériaux.

6.8.2 Thermomètres (gradués à 3°C pour des températures de 10 à 200°C).

6.8.3 Une spatule dont la lame a une largeur de 25 mm et une longueur minimale de 150 mm.

6.8.4 Balance d'une capacité de 5 kg et d'une précision de 1.0 g pour la préparation des mélanges.

6.8.5 Gants pour manipuler les objets chauds.

6.8.6 Crayon feutre pour identifier les éprouvettes.

6.8.7 Grande cuillère pour déposer le mélange dans les moules à éprouvettes.

7. EPROUVETTES

7.1 Mélange fabriqué en laboratoire

7.1.1 Nombre d'éprouvettes

Préparer suffisamment de granulats et de bitume pour obtenir au moins trois éprouvettes pour chaque combinaison de granulats et de bitume.

7.1.2 Préparation des granulats

Sécher les granulats à 110°C ± 5 jusqu'à masse constante et les séparer par tamisage à sec en fractions désirées. Les fractions suivantes sont recommandées:

25 à 19 mm
19 à 9,5 mm
9,5 à 4,75 mm
4,75 à 2,36 mm
2,36 et moins

7.1.3 Préparation du bitume

Le bitume doit être chauffé à une température lui permettant d'atteindre une viscosité de 170 ± 20 mm²/s lors du malaxage. Une fois la

température requise atteinte, il ne faut pas maintenir le bitume à cette température plus d'une heure.

7.1.4 Préparation des mélanges

Dans des plateaux différents pour chaque éprouvette d'essai, peser la quantité de chaque fraction nécessaire pour produire une fournée qui donnera une éprouvette moulée d'une hauteur de $63,5 \pm 1,2$ mm (environ 1200 g).

Poser les plateaux sur la plaque chauffante ou dans le four et chauffer à une température ne dépassant pas la température de malaxage mentionnée à 7.1.3 pour le bitume, de plus de 25°C .

Mettre les granulats chauffés et secs dans le bol de malaxage et mélanger parfaitement. Former ensuite un cratère dans les granulats secs et mélangés, peser la quantité nécessaire de liant bitumineux préchauffé puis la déposer dans le mélange.

Certaines précautions doivent être prises en vue d'éviter une perte du mélange durant le malaxage et les manipulations subséquentes. A ce stade, la température du granulat et du liant bitumineux doit se trouver dans les limites de température de malaxage mentionnées à 7.1.3.

Mélanger ensuite le granulat et le liant rapidement jusqu'à enrobage parfait. Placer immédiatement le mélange dans les moules pour le compacter tel qu'indiqué à 8.1. La température du mélange préparé ne doit pas être inférieure à 140°C pour le compactage.

7.2 Mélanges fabriqués en chantier

7.2.1 Faire chauffer tout le mélange reçu du chantier à $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ pour procéder à la séparation en diverses portions (selon la méthode LCTQ 01) afin d'effectuer les essais suivants:

compactage	- environ 1200 g
densité maximum	- environ 1000 g
extraction	- minimum de 1000 g

7.2.2 Placer au four la partie destinée au compactage jusqu'à ce qu'elle atteigne 150°C dans le cas des mélanges fabriqués avec un bitume dont la pénétration est comprise entre 80 et 200. Pour les bitumes plus mous, suivre la charte de viscosité température et viser une viscosité de 170 ± 20 mm²/s.

8. MODE OPERATOIRE

8.1 Nettoyer parfaitement le moule à éprouvette et la surface de la dame, les chauffer à une température se situant entre 100° et 150°C . Déposer un disque de papier, ciré de préférence, préalablement coupé à la dimension voulue au fond du moule avant d'y mettre le mélange. Placer tout le mélange dans le moule, puis, avec une spatule chauffée, donner 15 coups autour du moule et 10 coups au centre; lisser le

sommet pour qu'il soit légèrement bombé et placer un autre disque de papier.

NOTE 2 - La tige à bout arrondi de 6,35 mm est à déconseiller, car elle favorise la ségrégation.

8.2 Appliquer 60 coups de dame de chaque côté si la dame utilisée est mécanique avec plaque de base tournante et 75 coups pour une dame de compactage manuelle ou mécanique avec plaque de base fixe.

8.3 Retirer le moule, le placer avec l'éprouvette en position contraire à celle du compactage et laisser refroidir à la température de la pièce avant de démouler.

8.4 Après le démoulage, poser soigneusement l'éprouvette sur une surface lisse et au niveau afin d'éviter toute déformation jusqu'au moment de l'essai. Laisser reposer toute la nuit à la température ambiante. Peser, mesurer et tester l'éprouvette.

NOTE 3 - Si on désire accélérer le refroidissement, on peut utiliser des ventilateurs. Si les mélanges n'ont pas une cohésion suffisante pour avoir la forme cylindrique requise lorsqu'ils sont retirés du moule, ils peuvent être refroidis à l'air dans le moule jusqu'à ce qu'ils aient une cohésion suffisante pour avoir la forme cylindrique voulue.

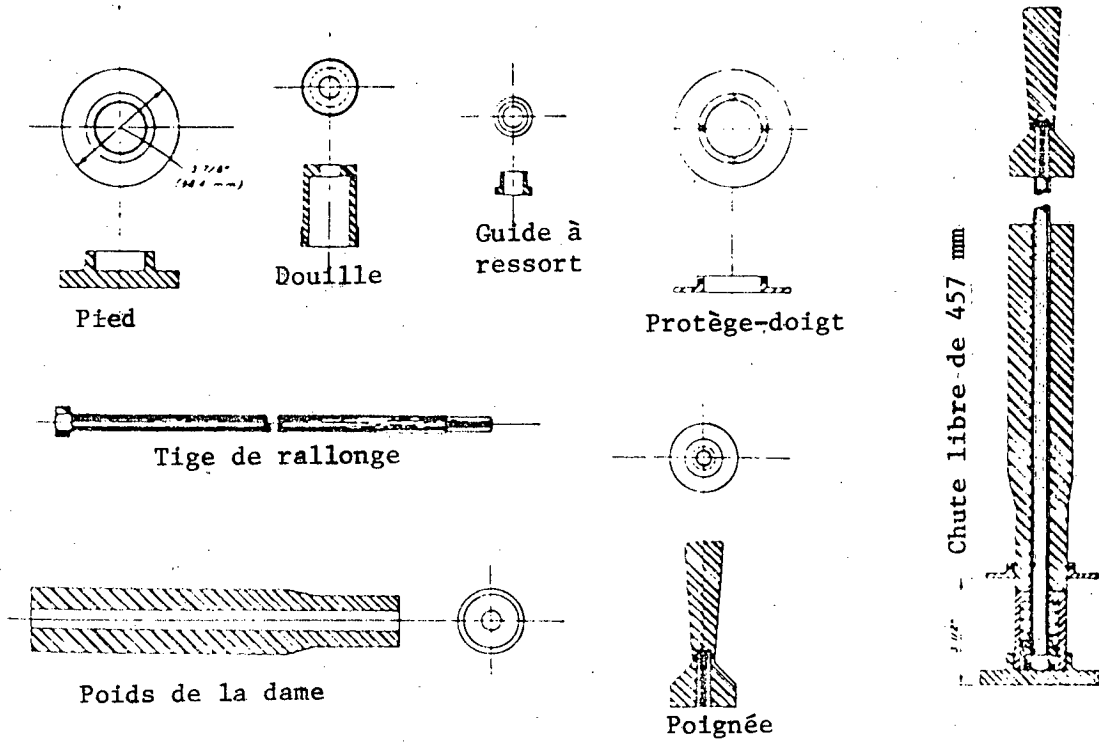


FIG. 2 Dame de compactage

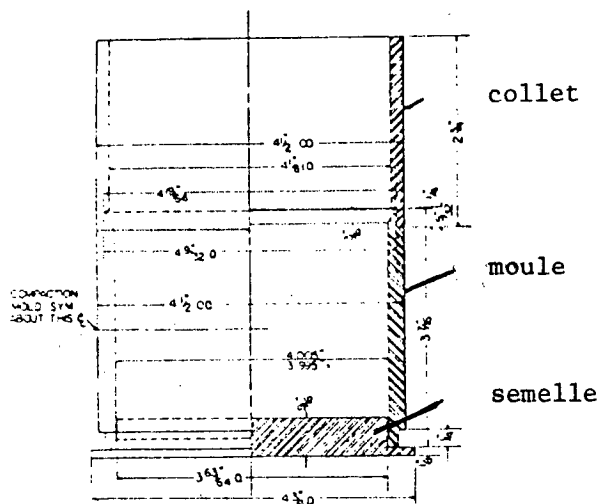


FIG. 1 Moule à éprouvette
Tableau des équivalences métriques

U. S. Customary Units, in.	Metric Equivalents, mm	U. S. Customary Units, in.	Metric Equivalents, mm	U. S. Customary Units, in.	Metric Equivalents, mm	U. S. Customary Units, in.	Metric Equivalents, mm
0.005	0.11	$\frac{1}{16}$	17.5	$2\frac{1}{16}$	58.7	$4\frac{1}{8}$	104.8
$\frac{1}{32}$	0.8	$\frac{1}{4}$	19.0	$2\frac{1}{2}$	63.5	$4\frac{1}{4}$	108.7
$\frac{1}{16}$	1.6	$\frac{3}{8}$	22.2	$2\frac{3}{4}$	69.8	$4\frac{3}{8}$	109.1
$\frac{3}{32}$	3.2	$\frac{1}{2}$	23.8	$2\frac{7}{8}$	73.0	$4\frac{1}{2}$	114.3
$\frac{1}{8}$	4.8	$\frac{5}{8}$	25.4	3	76.2	$4\frac{3}{4}$	117.5
$\frac{3}{16}$	6.4	1	28.6	$3\frac{1}{4}$	82.6	$4\frac{3}{4}$	120.6
$\frac{7}{32}$	7.1	$1\frac{1}{4}$	31.8	$3\frac{5}{16}$	87.3	$5\frac{1}{8}$	128.6
$\frac{1}{4}$	9.5	$1\frac{1}{2}$	34.9	$3\frac{3}{4}$	98.4	$5\frac{1}{4}$	130.2
0.496	12.6	$1\frac{5}{8}$	38.1	$3\frac{9}{16}$	101.2	$5\frac{1}{2}$	146.0
0.499	12.67	1 $\frac{5}{8}$	41.3	3.990	101.35	6	152.4
$\frac{1}{2}$	12.7	$1\frac{3}{4}$	44.4	3.995	101.47	$6\frac{1}{4}$	158.8
$\frac{9}{16}$	14.3	2	50.8	4	101.6	$7\frac{1}{8}$	193.7
$\frac{5}{8}$	15.9	$2\frac{1}{4}$	57.2	4.005	101.73	7	177.8

Densité brute

LCTQ 03

METHODE DE MESURE DE LA DENSITE BRUTE DES MELANGES

BITUMINEUX COMPACTES (sur éprouvettes saturées à surface sèche)

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur la norme ASTM D-2726.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique à la mesure de la densité brute des éprouvettes de mélanges bitumineux compactés.

2.2 La présente norme n'est applicable qu'aux mélanges compactés denses ou pratiquement dépourvus d'absorbivité, contenant moins de 10% de vide tels que définis dans la méthode LCTQ 10.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Normes ASTM

D-1461 Moisture or Volatile Distillates in Bituminous Paving Mixtures.

D-2726 Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures Using Saturated Surface Dry Specimens.

3.2 Normes LCTQ

LCTQ 01 Echantillonnage de mélanges bitumineux en laboratoire.

LCTQ 02 Préparation d'éprouvettes d'essai Marshall.

LCTQ 10 Pourcentage des vides dans les mélanges compactés de type dense et de type ouvert.

4. RESUME DE LA METHODE

4.1 Conformément à certaines conditions, on pèse l'échantillon dans l'air et dans l'eau pour connaître sa masse et celle d'un égal volume d'eau.

5. SIGNIFICATION ET EMPLOI

5.1 Cette méthode est utilisée dans la détermination des pourcentages de vides, de compactage et d'absorption de bitume. Elle sert aussi dans le calcul des mélanges ainsi que les contrôles de qualité.

Puisque la densité n'a pas d'unité, elle peut être multipliée par la masse volumique de l'eau pour effectuer des calculs avec unités.

6. DEFINITION

6.1 La densité mesurée par la présente méthode est le rapport de la masse d'un volume donné de matériau à 25°C (ou à une température donnée) à celle d'un égal volume d'eau à la même température.

7. APPAREILLAGE

7.1 Balance

La balance doit être de capacité suffisante et avoir une précision qui permet à la densité brute des éprouvettes d'être calculée à au moins quatre chiffres significatifs près, c'est-à-dire à au moins trois décimales près. La balance doit être munie d'un dispositif de suspension et d'un support convenables, c'est-à-dire permettant à l'éprouvette d'être pesée pendant qu'elle est suspendue au centre du plateau de la balance.

NOTE 1 - Etant donné que le nombre des chiffres significatifs du quotient (densité brute) n'est pas supérieur à celui du dividende (masse de l'éprouvette dans l'air), ni d'ailleurs à celui du diviseur (masse d'un égal volume d'eau, c'est-à-dire différence entre la masse de l'éprouvette saturée et sèche en surface déterminée dans l'air et sa masse mesurée dans l'eau), il s'ensuit que la sensibilité de la balance doit permettre d'obtenir la masse et le volume à au moins quatre chiffres significatifs près. Par exemple, dans le cas d'une densité égale à 2,300, une précision de 0,1 g permettrait d'obtenir quatre chiffres significatifs dans l'expression de la masse, dans l'intervalle compris entre 130,0 et 999,9 g.

7.2 Bain d'eau

Le bain d'eau est destiné à l'immersion de l'éprouvette suspendue au plateau de la balance. Il doit être muni d'un orifice de trop-plein pour le maintien de l'eau à un niveau constant.

7.3 Dispositif de suspension de l'éprouvette

Ce dispositif doit être en métal ou autre matériau non absorbant.

7.4 Thermomètre

Un thermomètre gradué au 0,1°C pour les températures de 20 à 50°C.

8. EPROUVETTES

8.1 Les éprouvettes peuvent être de deux sortes: prélevées dans les revêtements bitumineux ou obtenues en laboratoire par moulage de mélanges bitumineux (LCTQ 02).

8.2 Dimensions des éprouvettes

1) Le diamètre des carottes ou des éprouvettes cylindriques obtenues par moulage ou la longueur des côtés des éprouvettes obtenues par sciage doit au moins être égal à la grosseur maximale des granulats multipliée par 4.

NOTE 2 - La grosseur maximale d'un granulat est donnée par la dénomination du plus petit tamis standard ou passant 100% des particules.

2) L'épaisseur des éprouvettes doit au moins être égale à la grosseur maximale des granulats multipliée par 1,5.

8.3 Les éprouvettes prélevées dans les revêtements doivent être obtenues par un moyen convenable, par exemple par carottage ou par sciage (outil au diamant ou au carborundum).

8.4 On doit prendre toutes les précautions utiles pour éviter la déformation et la fissuration des éprouvettes pendant et après leur extraction des revêtements ou des moules.

8.5 Les éprouvettes doivent être exemptes de matières étrangères.

8.6 Le cas échéant, on peut avoir recours à tout moyen convenable, le sciage par exemple, pour libérer les éprouvettes des matériaux constitutifs des autres couches de la chaussée.

9. MODE OPERATOIRE

9.1 Cas des éprouvettes contenant de l'humidité

C'est souvent le cas des éprouvettes prélevées par carottage dans un revêtement bitumineux.

9.1.1 Pesée de l'éprouvette dans l'eau

Plonger l'éprouvette dans un bain d'eau et mesurer son poids au bout de 3 à 5 minutes. Désigner par C le poids ainsi obtenu. Mesurer la

température de l'eau et si elle est différente de $25^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$, apporter une correction à la densité conformément à l'article 10.2.

9.1.2 Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée à la surface sèche

Sécher la surface de l'éprouvette en l'épongeant rapidement avec une serviette moite. Peser dans l'air. Désigner par B la masse ainsi obtenue.

9.1.3 Pesée de l'éprouvette séchée à l'étuve

Mettre l'éprouvette à sécher dans une étuve jusqu'à poids constant à $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (en règle générale, le temps de séchage se situe entre 15 et 24 h). Laisser refroidir et peser l'éprouvette dans l'air. Désigner par A la masse ainsi obtenue.

9.2 Cas des éprouvettes contenant humidité et solvant

9.2.1 Pesée de l'éprouvette dans l'eau

Procéder suivant l'article 9.1.1.

9.2.2 Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée à surface sèche

Procéder suivant l'article 9.1.2.

9.2.3 Pesée dans l'air de l'éprouvette à l'état parfaitement sec

Prendre l'éprouvette saturée à surface sèche et la soumettre sans tarder à l'essai ASTM D-1461, qui est destiné à la mesure de la teneur en eau de l'éprouvette. Si l'éprouvette est trop grande pour être contenue dans le ballon de distillation, prélever une portion représentative et la soumettre à l'essai ci-dessus. Désigner par A la masse obtenue lorsque l'on soustrait de la masse B la valeur de la masse d'humidité déterminée par l'essai.

9.3 Cas des éprouvettes parfaitement sèches

9.3.1 Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche

Mettre l'éprouvette à la température ambiante pendant au moins 1 h. Peser et désigner par A la masse obtenue.

9.3.2 Pesée de l'éprouvette dans l'eau

Procéder suivant l'article 9.1.1.

9.3.3 Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée à surface sèche

Procéder suivant l'article 9.1.2.

10. CALCUL

10.1 La densité brute de l'éprouvette est donnée par la formule suivante si l'essai est effectué à $25 \pm 1^\circ\text{C}$:

$$\text{Densité brute} = \frac{A}{B - C}$$

A = masse dans l'air de l'éprouvette sèche
B = masse dans l'air de l'éprouvette saturée à surface sèche
C = masse de l'éprouvette dans l'eau.

10.2 Si la température de l'eau s'écarte de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, on doit utiliser l'équation suivante:

$$\text{Densité brute} = \frac{A}{B - C} \times \frac{dw}{0,99704}$$

dw = masse volumique de l'eau à la température de l'essai
0,99704 = masse volumique de l'eau à 25°C .

Les tableaux I, II, III donnent les masses volumiques de l'eau et les rapports pour les températures de 15°C à 30°C .

11. RAPPORT

11.1 Le rapport de l'essai doit être écrit et comporter les renseignements suivants:

11.1.1 La densité brute à la troisième décimale à 25°C .

11.1.2 Le type de mélange.

11.1.3 La taille de l'échantillon

12. PRECISION

12.1 Les critères d'acceptabilité des résultats obtenus par la présente méthode sont les suivants:

Résultats obtenus (a)	Ecart-type (1σ)	Intervalle d'acceptation de 2 résultats ($D2\sigma$)
par un seul opérateur	0,0124	0,035
par plusieurs opérateurs	0,0269	0,076

12.2 Les chiffres de la colonne 2 représentent les écarts-types que l'on juge acceptables dans les conditions d'essai données dans la colonne 1. Les chiffres de la colonne 3 représentent les limites admissibles de l'écart entre les résultats donnés par deux essais convenablement exécutés.

NOTE (a) - Ces chiffres sont fondés sur des essais exécutés en 4 exemplaires sur 6 matériaux dans 16 laboratoires.

TABLEAU I

Masse volumique de l'eau de 15.0 °C à 30.9 °C

Compilation extraite de la valeur absolue à 3.98°C du Bureau International des poids et mesures (1910) et des valeurs relatives de "Tbiesen, Scheeland Disselhorst (1900)"

DEGRÉS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	0,999099	084	069	054	038	023	007	**991	**975	**959
16	0,998943	926	910	893	877	860	843	826	809	792
17	0,998774	757	739	722	704	686	668	650	632	613
18	0,998595	576	558	539	520	501	482	463	444	424
19	0,998405	385	365	345	325	305	285	265	244	224
20	0,998203	183	162	141	120	099	078	056	035	013
21	0,997992	970	948	926	904	882	860	837	815	792
22	0,997770	747	724	701	678	655	632	608	585	561
23	0,997538	514	490	466	442	418	394	369	345	320
24	0,997296	271	246	221	196	171	146	120	095	069
25	0,997044	018	* 992	* 967	* 941	* 914	* 888	* 862	* 836	* 809
26	0,996783	756	729	703	676	649	621	594	567	540
27	0,996512	485	457	429	401	373	345	317	289	261
28	0,996232	204	175	147	118	089	060	031	002	995973
29	0,995944	914	885	855	826	796	766	736	706	676
30	0,995646	616	586	555	525	494	464	433	402	371

** Ces chiffres doivent être précédés de 0,998

* Ces chiffres doivent être précédés de 0,996

TABLEAU II

Rapport de la masse volumique de l'eau à T°C sur celle à 25 °C: $\frac{m \text{ à } T^{\circ}\text{C}}{,997044}$

15,0	1,002061	18,0	1,001555	21,0	1,000950	24,0	1,000252	27,0	,999466
15,1	1,002046	18,1	1,001536	21,1	1,000928	24,1	1,000227	27,1	,999439
15,2	1,002031	18,2	1,001518	21,2	1,000906	24,2	1,000202	27,2	,999411
15,3	1,002016	18,3	1,001499	21,3	1,000884	24,3	1,000177	27,3	,999383
15,4	1,001999	18,4	1,001480	21,4	1,000862	24,4	1,000152	27,4	,999355
15,5	1,001984	18,5	1,001461	21,5	1,000840	24,5	1,000127	27,5	,999327
15,6	1,001968	18,6	1,001442	21,6	1,000818	24,6	1,000102	27,6	,999298
15,7	1,001952	18,7	1,001423	21,7	1,000795	24,7	1,000076	27,7	,999270
15,8	1,001936	18,8	1,001404	21,8	1,000773	24,8	1,000051	27,8	,999242
15,9	1,001920	18,9	1,001384	21,9	1,000750	24,9	1,000025	27,9	,999214
16,0	1,001904	19,0	1,001365	22,0	1,000728	25,0	1,000000	28,0	,999185
16,1	1,001887	19,1	1,001345	22,1	1,000705	25,1	,999973	28,1	,999157
16,2	1,001871	19,2	1,001324	22,2	1,000682	25,2	,999947	28,2	,999128
16,3	1,001854	19,3	1,001304	22,3	1,000658	25,3	,999922	28,3	,999100
16,4	1,001838	19,4	1,001284	22,4	1,000635	25,4	,999896	28,4	,999071
16,5	1,001821	19,5	1,001264	22,5	1,000612	25,5	,999869	28,5	,999042
16,6	1,001804	19,6	1,001244	22,6	1,000589	25,6	,999843	28,6	,999013
16,7	1,001787	19,7	1,001224	22,7	1,000565	25,7	,999817	28,7	,998984
16,8	1,001770	19,8	1,001203	22,8	1,000542	25,8	,999791	28,8	,998954
16,9	1,001753	19,9	1,001183	22,9	1,000518	25,9	,999764	28,9	,998925
17,0	1,001735	20,0	1,001162	23,0	1,000495	26,0	,999738	29,0	,998896
17,1	1,001718	20,1	1,001142	23,1	1,000471	26,1	,999711	29,1	,998866
17,2	1,001700	20,2	1,001121	23,2	1,000447	26,2	,999684	29,2	,998837
17,3	1,001683	20,3	1,001100	23,3	1,000423	26,3	,999657	29,3	,998807
17,4	1,001664	20,4	1,001079	23,4	1,000399	26,4	,999630	29,4	,998778
17,5	1,001646	20,5	1,001058	23,5	1,000375	26,5	,999603	29,5	,998748
17,6	1,001628	20,6	1,001037	23,6	1,000351	26,6	,999575	29,6	,998718
17,7	1,001610	20,7	1,001015	23,7	1,000326	26,7	,999548	29,7	,998688
17,8	1,001592	20,8	1,000993	23,8	1,000301	26,8	,999521	29,8	,998658
17,9	1,001573	20,9	1,000971	23,9	1,000276	26,9	,999494	29,9	,998627

TABLEAU III

Rapport de la masse volumique de l'eau à 25 °C sur celle à T °C : $\frac{.997044}{m \text{ à } T^\circ\text{C}}$

15,0	,997943	18,0	,998446	21,0	,999050	24,0	,999747	27,0	1,000533
15,1	,997958	18,1	,998465	21,1	,999072	24,1	,999772	27,1	1,000561
15,2	,997973	18,2	,998483	21,2	,999094	24,2	,999797	27,2	1,000589
15,3	,997988	18,3	,998502	21,3	,999116	24,3	,999822	27,3	1,000617
15,4	,998004	18,4	,998521	21,4	,999138	24,4	,999847	27,4	1,000645
15,5	,998019	18,5	,998540	21,5	,999160	24,5	,999872	27,5	1,000673
15,6	,998035	18,6	,998559	21,6	,999182	24,6	,999897	27,6	1,000701
15,7	,998051	18,7	,998578	21,7	,999205	24,7	,999923	27,7	1,000729
15,8	,998067	18,8	,998597	21,8	,999227	24,8	,999948	27,8	1,000757
15,9	,998083	18,9	,998617	21,9	,999250	24,9	,999974	27,9	1,000785
16,0	,998098	19,0	,998636	22,0	,999272	25,0	1,000000	28,0	1,000815
16,1	,998115	19,1	,998656	22,1	,999295	25,1	1,000026	28,1	1,000843
16,2	,998131	19,2	,998676	22,2	,999318	25,2	1,000052	28,2	1,000872
16,3	,998148	19,3	,998696	22,3	,999341	25,3	1,000077	28,3	1,000900
16,4	,998164	19,4	,998716	22,4	,999364	25,4	1,000103	28,4	1,000929
16,5	,998181	19,5	,998736	22,5	,999387	25,5	1,000130	28,5	1,000958
16,6	,998198	19,6	,998756	22,6	,999410	25,6	1,000156	28,6	1,000987
16,7	,998215	19,7	,998776	22,7	,999434	25,7	1,000182	28,7	1,001017
16,8	,998232	19,8	,998797	22,8	,999457	25,8	1,000208	28,8	1,001046
16,9	,998249	19,9	,998817	22,9	,999481	25,9	1,000235	28,9	1,001075
17,0	,998267	20,0	,998838	23,0	,999504	26,0	1,000261	29,0	1,001104
17,1	,998284	20,1	,998858	23,1	,999528	26,1	1,000288	29,1	1,001134
17,2	,998302	20,2	,998879	23,2	,999552	26,2	1,000316	29,2	1,001163
17,3	,998319	20,3	,998900	23,3	,999576	26,3	1,000342	29,3	1,001193
17,4	,998337	20,4	,998921	23,4	,999600	26,4	1,000369	29,4	1,001223
17,5	,998355	20,5	,998942	23,5	,999625	26,5	1,000396	29,5	1,001253
17,6	,998373	20,6	,998964	23,6	,999649	26,6	1,000424	29,6	1,001283
17,7	,998398	20,7	,998986	23,7	,999674	26,7	1,000451	29,7	1,001313
17,8	,998409	20,8	,999007	23,8	,999698	26,8	1,000478	29,8	1,001343
17,9	,998428	20,9	,999029	23,9	,999729	26,9	1,000505	29,9	1,001373

Stabilité

LCTQ 04

METHODE "MARSHALL" DE MESURE DE LA RESISTANCE

A LA DEFORMATION DES MELANGES BITUMINEUX

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur la norme ASTM D-1559.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique à la mesure de la résistance à la déformation d'éprouvettes fabriquées selon la méthode LCTQ 02.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Norme ASTM

D-1559 Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus.

3.2 Normes LCTQ

LCTQ 02 Préparation d'éprouvettes d'essai Marshall .

LCTQ 11 Méthode de calcul d'un mélange.

4. RESUME DE LA METHODE

4.1 Après avoir porté à une certaine température les éprouvettes de mélanges bitumineux, on les place entre les mâchoires de l'appareil Marshall et on y applique une charge à une vitesse constante. On mesure alors la résistance maximale de l'éprouvette ainsi que la déformation subie.

5. SIGNIFICATION ET EMPLOI

5.1 Cette méthode sert à mesurer la résistance à la déformation d'un mélange bitumineux. La valeur de cette résistance est reliée à la durabilité d'un revêtement, elle peut aussi servir au calcul de la compactibilité d'un mélange (LCTQ 11, article 9.9).

6. DEFINITION

6.1 La résistance mesurée dans cet essai est celle de l'éprouvette placée entre deux mâchoires qui tendent à se rapprocher sous l'action d'un vérin.

7. APPAREILLAGE

7.1 Un stabilomètre comprenant:

7.1.1 Mâchoire (fig. 1)

Elle doit comporter des segments cylindriques supérieur et inférieur ayant un rayon de courbure de 50,8 mm rigoureusement usiné. Le segment inférieur doit être monté sur une base ayant deux glissières se prolongeant vers le haut. Les douilles de guidage du segment supérieur doivent être placées de façon à diriger en même temps les deux segments sans grippage ni jeu dans les glissières.

7.1.2 Vérin

C'est un vérin à vis monté dans une monture; il doit produire une vitesse d'avancement constante de $50,8 \pm 1,3$ mm/min. Un moteur électrique peut être fixé au mécanisme du vérin.

NOTE 1 - On peut remplacer le vérin par une machine d'essai mécanique ou hydraulique à condition de maintenir la vitesse d'avancement à $50,8 \pm 1,3$ mm/min. lorsqu'on applique la charge.

7.1.3 Dynamomètre à anneau (fig. 2)

Il doit avoir une capacité de 22,07 kN et une sensibilité de 0,04 kN entre 0 et 4,41 kN et de 0,11 kN entre 4,41 kN et 22,07 kN, et être muni d'un cadran micrométrique gradué en 0,0025 mm ou moins. Les fixations supérieures et inférieures du dynamomètre sont nécessaires pour le fixer à la monture et pour transmettre la charge à la mâchoire.

NOTE 2 - On peut remplacer le dynamomètre à anneau par un autre dispositif de mesure des forces à condition qu'il ait la capacité et la sensibilité mentionnées à l'article 7.1.3 ci-haut.

7.2 Indicateur de déformation

Il doit être composé d'une douille de guidage et d'une jauge. La goupille de la jauge doit glisser à l'intérieur de la douille de guidage avec une légère résistance au frottement. De plus, la douille de guidage doit glisser librement sur la glissière de la mâchoire. La jauge de l'indicateur de déformation, graduée en 0,25 mm ou moins, doit être réglée à zéro lorsqu'elle est en place sur la mâchoire et lors de

l'insertion de chaque éprouvette d'essai entre les segments de la mâchoire. Pour une mesure exacte de la déformation, on doit utiliser deux indicateurs lors de l'essai.

NOTE 3 - Pour mesurer la déformation, on peut utiliser un cadran micrométrique ou un enregistreur d'efforts et de déformations gradués en 0,025 mm à la place des indicateurs de déformation.

7.3 Bain-marie

Il doit avoir au moins 150 mm de profondeur et doit être muni d'une commande thermostatique pour maintenir la température du bain à $60 \pm 1^\circ\text{C}$. Le réservoir doit avoir un double fond perforé ou une étagère servant de support à éprouvettes afin qu'elles soient à plus de 20 mm au-dessus du fond du bain.

NOTE 4 - Un système d'agitation d'eau aide grandement à maintenir la température de l'eau uniformément dans le bain.

7.4 Thermomètre

Le thermomètre pour le bain-marie doit être gradué au $0,2^\circ\text{C}$ entre 20 et 70°C .

7.5 Gants

On utilise des gants imperméables pour retirer les éprouvettes du bain-marie.

8. MODE OPERATOIRE

8.1 Placer les éprouvettes au bain-marie pendant 30 à 40 minutes. Maintenir la température du bain à $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Nettoyer parfaitement les glissières et les surfaces intérieures des mâchoires avant d'effectuer l'essai. La température des mâchoires doit être maintenue entre 20 et 40°C au bain-marie si nécessaire. Vérifier si l'indicateur à cadran est solidement fixé et réglé à "0" avant de commencer l'essai. Retirer l'éprouvette du bain et sécher soigneusement la surface, placer l'éprouvette dans la mâchoire inférieure et centrer. Placer ensuite la mâchoire supérieure sur l'éprouvette et centrer l'appareillage complet sur la presse. Placer les indicateurs de déformation et les ajuster à zéro.

8.2 Appliquer la charge sur l'éprouvette à une vitesse constante du vérin ou de la machine d'essai de 50,8 mm par minute, jusqu'à ce que la charge maximale soit atteinte et qu'elle commence à décroître. Noter la charge maximale et la déformation subie à ce moment précis. L'indice de déformation est noté en 25 centième de millimètre ou unités équivalentes si un cadran micrométrique est utilisé. Le temps maximum pour effectuer le test, à partir du moment où l'éprouvette est retirée du bain-marie jusqu'à la détermination de la charge maximale, est de 30 secondes.

NOTE 5 - Lorsque des carottes sont utilisées, la charge doit être corrigée si l'épaisseur n'est pas de 63,5 mm. Utiliser à cette fin le facteur multiplicateur du tableau 1.

9. RAPPORT

9.1 Le rapport de l'essai doit être écrit et contenir les informations suivantes:

9.1.1 Le genre d'échantillons testés (échantillons de laboratoire ou carottes).

NOTE 6 - Si on utilise des carottes, indiquer la hauteur de chaque éprouvette d'essai en millimètres.

9.1.2 La charge maximale moyenne en kilo newtons d'au moins deux éprouvettes, y compris la correction s'il le faut.

9.1.3 Les indices de déformation moyens en millimètre d'au moins deux éprouvettes.

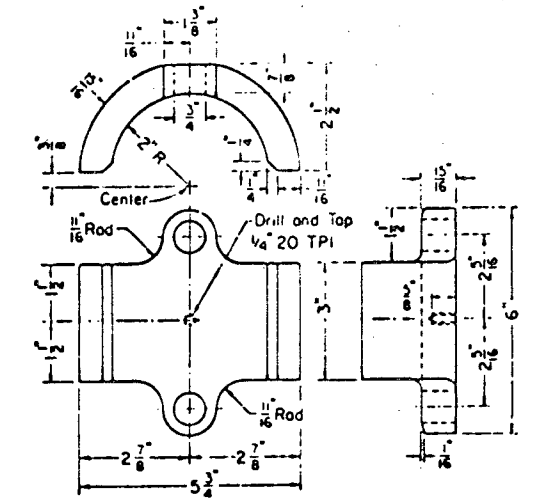
9.1.4 La température de l'essai.

NOTE 7 - Si on a effectué auparavant l'essai de densité brute, on a le volume de l'échantillon et on peut s'en servir pour trouver le facteur de correction du tableau 1.

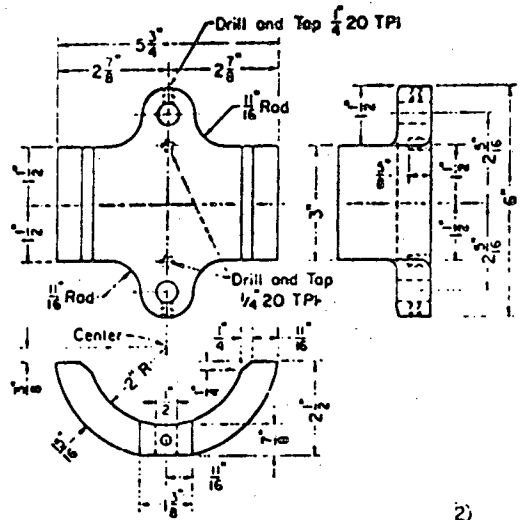
TABLEAU 1 Facteur de correction (Stabilité Marshall)

Volume brut en cm ³	Épaisseur approx. en mm	Facteur de correction
200-213	25,4	5,56
214-225	27,	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	64,0	0,96
536-546	65,1	0,93
547-559	66,7	0,89
560-573	68,3	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

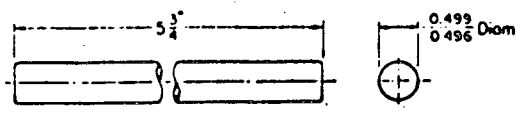
• La stabilité obtenue avec le facteur de correction correspond à la stabilité qu'aurait une éprouvette de 63,5 mm mélange identique.
 • La relation volume-épaisseur est basée sur une éprouvette de 63,5 mm
 • L'épaisseur en mm (de l'éprouvette) peut être fourni par l'équation suivante: $E = 0,12329 \times V$
 où E: épaisseur en mm éprouvette
 V: volume en cm³ de l'éprouvette



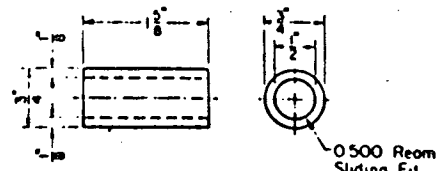
tête d'essai supérieure ①



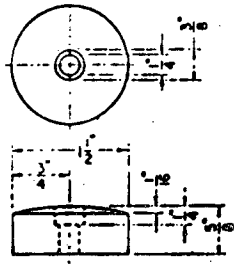
tête d'essai inférieure ②



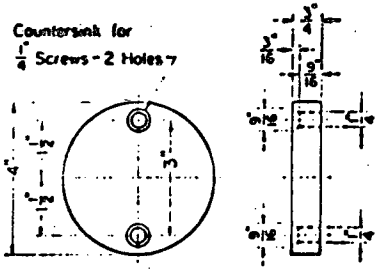
montant ⑤



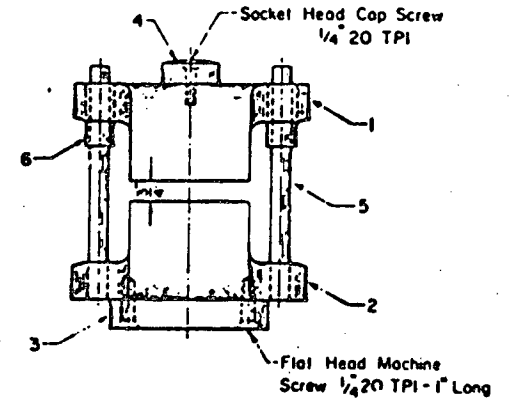
douille ⑥



adapteur ④



socle ③



mâchoire montée

FIG. 1
mâchoire

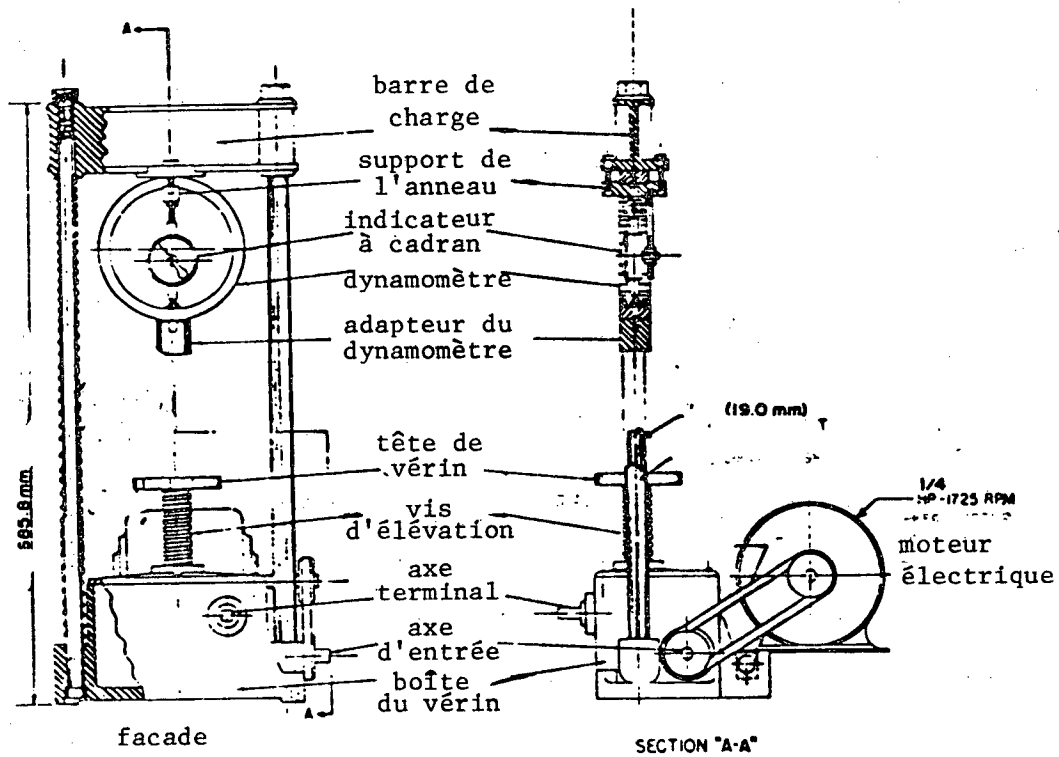


FIG. 2
 Machine d'essai de résistance à la compression
 ou
 stabilomètre

Extraction du bitume

LCTQ 05

METHODE D'EXTRACTION DU BITUME CONTENU
DANS LES MELANGES BITUMINEUX

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur la norme ASTM D-2172.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique à la détermination de la teneur en bitume présente dans les revêtements et les enrobés à chaud.

NOTE 1 - Bien que le bitume soit, par définition, un matériau soluble dans le bisulfure de carbone, la présente norme fait appel, par mesure de sécurité, à l'emploi du trichloroéthylène.

NOTE 2 - Les résultats obtenus par cette méthode peuvent être affectés par l'âge du matériau soumis à l'essai; les échantillons les plus vieux ont tendance à céder légèrement moins de bitume.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Normes ASTM

- D-70 Test for Specific Gravity of Semi-Solid Bituminous Materials.
D-1461 Moisture or Volatile Distillates in Bituminous Paving Mixtures.
D-2172 Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures.

3.2 Normes LCTQ

- LCTQ 01 Echantillonnage du mélange bitumineux en laboratoire.
LCTQ 06 Méthode de mesure du filler minéral contenu dans l'extrait.
LCTQ 07 Méthode de mesure de la justesse de la teneur en bitume trouvée lors de l'extraction.

3.3 Norme fédérale américaine

- O-T-634 Trichloroéthylène, Technical.

4. RESUME DE LA METHODE

4.1 L'échantillon de mélange est séparé en ses deux principaux constituants au moyen d'un solvant. La teneur en bitume est ensuite calculée par différence de masse du mélange et des granulats incluant le filler minéral.

5. SIGNIFICATION ET EMPLOI

5.1 Cette méthode est employée pour la détermination quantitative de bitume contenu dans les revêtements comme critère d'acceptation de formules, contrôle de qualité, évaluation de comportement et étude en laboratoire.

6. APPAREILLAGE

6.1 Etuve

Elle doit pouvoir maintenir une température de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

6.2 Séchoir

Il est constitué d'une plaque chauffante d'une puissance de 700 watts ou de lampes infrarouges de 150 watts ou enfin d'une étuve sans circulation d'air chaud forcé.

6.3 Balance

Elle doit avoir une capacité minimale de 2500 g et une précision de 0.1 g.

6.4 Appareil d'extraction

Il comporte un bol semblable à celui de la figure I et un dispositif dans lequel on peut faire tourner ce bol à des vitesses réglables jusqu'à 3600 tours par minute. L'appareil doit être muni d'un réceptacle destiné à capter **tout** le solvant projeté hors du bol, ainsi que d'une conduite de vidange pour l'élimination du solvant. Employer de préférence un appareil antidéflagrant et l'installer sous une hotte afin d'assurer la ventilation.

NOTE 3 - On peut employer un appareil aux dimensions plus grandes que celui décrit dans la figure I.

6.5 Filtres circulaires

Ces filtres doivent s'adapter parfaitement au bord du bol.

NOTE 4 - Les appareils qui sont propres à chacune des méthodes de calcul du filler minéral contenu dans l'extrait sont décrits dans la norme LCTQ 06.

7. REACTIF

7.1 Trichloroéthylène de qualité technique conforme à la norme fédérale O-T-634 (dernière édition).

NOTE 5 - Le solvant ne doit être employé que sous une hotte et dans des locaux bien ventilés. Il est toxique et la concentration admissible (exposition de 8 heures, 5 jours par semaine) est de 100 ppm (a).

(a) Threshold Limit Concentration Committee of the American Conference of Government Hygienists, 1977 values.

8. ECHANTILLONNAGE

8.1 L'échantillon doit être obtenu conformément à la méthode LCTQ 01.

8.2 La taille de l'échantillon doit être conforme aux prescriptions ci-après. Dans le cas des échantillons dont le volume dépasse la capacité du récipient, on peut les diviser en plusieurs portions qui feront chacune l'objet d'une mesure de la teneur en bitume.

Grosseur nominale du granulat du mélange (mm)	Taille minimale approximative de l'échantillon (g)
37,5 mm +	3000 g
25 mm	2000 g
19 mm -	1000 g

NOTE 6 - La grosseur nominale d'un granulat est donnée par la dénomination du plus petit tamis de la série standard où passent 90 à 100% des particules.

NOTE 7 - La précision de la méthode diminue à mesure que croît la grosseur des granulats; pour obtenir la même précision, on doit donc augmenter la taille de l'échantillon selon le tableau ci-haut.

8.3 La quantité requise de mélange doit être chauffée à $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ à l'étuve ou sous des lampes infrarouges jusqu'à masse constante.

NOTE 8 - Si on veut déterminer la teneur en eau du mélange, on procède selon la méthode ASTM D-1461 sur un échantillon non chauffé.

9. MODE OPERATOIRE

9.1 Déterminer la masse du bol et du filtre préalablement asséché pendant un minimum de 15 minutes à $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Ajouter la quantité de mélange préparé et peser immédiatement ensemble le bol, le mélange et le filtre.

9.2 Recouvrir de trichloroéthylène le mélange et laisser au solvant le temps de désagréger l'échantillon (trempage de 10 minutes ou plus). Placer le bol dans l'appareil extracteur, bien fixer le couvercle et placer le récipient approprié sous l'orifice de vidange afin de recueillir l'extrait.

NOTE 9 - Le mélange peut être refroidi avant d'être recouvert de trichloroéthylène; aussi, le bol peut être placé dans l'appareil d'abord et ensuite le mélange est recouvert de trichloroéthylène.

9.3 Mettre en marche l'appareil et augmenter progressivement la vitesse à 2200 ± 100 tours/minute. Arrêter l'appareil lorsque le solvant cesse de s'écouler. Verser environ 250 ml de solvant, laisser tremper 5 minutes et remettre l'appareil en marche. Répéter l'opération pour obtenir quatre lavages; nettoyer la conduite de vidange.

NOTE 10- Si on utilise la méthode centrifuge (LCTQ 06) de calcul du filler minéral, on ne doit pas laisser tremper le mélange au premier lavage et le nombre de lavages doit permettre l'obtention d'un extrait clair dont la teinte ne doit pas être plus foncée que le jaune paille.

9.4 Faire sécher jusqu'à poids constant à $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ le filtre et les granulats dans le bol extracteur et peser immédiatement.

NOTE 11- Le temps de séchage pour atteindre le poids constant peut varier d'un laboratoire à l'autre à cause des différentes conditions propres à chacun. Le poids constant à une température donnée est atteint lorsque la perte de poids entre deux pesées exécutées à intervalle de 15 minutes est égale ou inférieure à la précision de la balance.

9.5 Calculer la quantité de filler minéral contenu dans l'extrait selon la méthode volumétrique ou la méthode centrifuge conformément à la norme LCTQ 06.

10. CALCUL

10.1 La teneur en bitume de l'échantillon est donnée par l'équation suivante:

$$\text{Teneur en bitume (\%)} = \frac{M_1 - (M_2 + M_3)}{M_1} \times 100$$

10. CALCUL (suite)

M_1 = masse de l'échantillon pesé chaud (article 9.1)

M_2 = masse des granulats pesés chauds (article 9.4)

M_3 = masse du filler minéral contenu dans l'extrait (article 9.5).

11. PRECISION

11.1 Les critères d'acceptabilité des résultats obtenus par la présente méthode sont donnés dans le tableau suivant:

Résultats obtenus	Ecart-type (1σ)	Intervalle d'acceptation de 2 résultats ($D2\sigma$)
par un seul opérateur	0,18	0,52
par plusieurs laboratoires	0,29	0,81

NOTE 12 - Ces chiffres sont fondés sur des essais exécutés en double sur 6 matériaux dans 16 laboratoires.

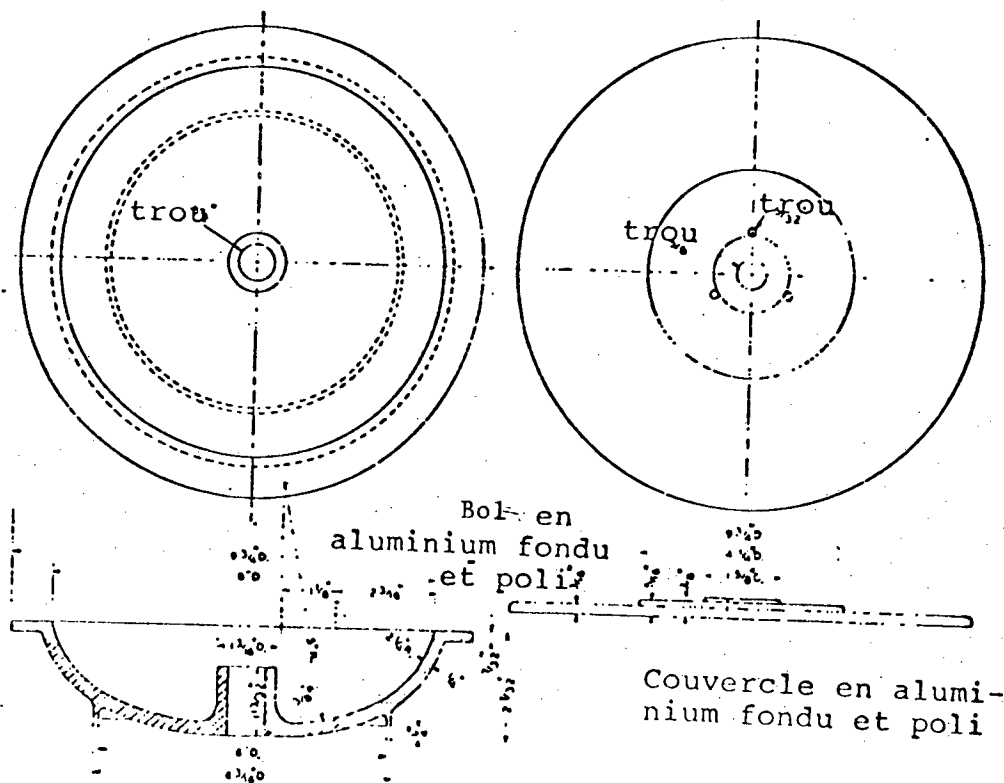
11.2 Les chiffres de la colonne 2 représentent les écarts-types que l'on juge acceptables dans les conditions d'essai données dans la colonne 1. Les chiffres de la colonne 3 représentent les limites admissibles de l'écart entre les résultats donnés par deux essais convenablement exécutés.

12. JUSTESSE

12.1 Il peut exister un écart positif ou négatif entre le pourcentage de bitume effectivement mis dans le mélange et le pourcentage de bitume trouvé lors des essais de laboratoire. Cet écart est dû à divers facteurs, entre autres la rétention par les granulats de bitume seul, de bitume et de trichloroéthylène, ou de trichloroéthylène seul.

12.2 La méthode de mesure de cet écart est décrite dans la norme LCTQ 07.

FIGURE 1 - BOL D'EXTRACTION



Mesure du filler

LCTQ 06

METHODES DE MESURE DU FILLER MINERAL CONTENU DANS L'EXTRAIT

1. DOMAINE D'APPLICATION

1.1 La présente norme décrit deux méthodes qui s'appliquent à la mesure de la masse du filler minéral entraînée par le bitume lors de l'extraction.

2. DOCUMENTS CONNEXES

2.1 Norme ASTM

D-2172 Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures.

2.2 Norme LCTQ

LCTQ 05 Méthode d'extraction du bitume contenu dans les mélanges bitumineux.

3. SIGNIFICATION ET EMPLOI

3.1 Ces méthodes sont employées pour corriger la teneur en bitume contenu dans les mélanges bitumineux à partir de la mesure du filler minéral contenu dans l'extrait.

Méthode volumétrique

4. APPAREILLAGE

4.1 Récepteur collecteur

Ballon volumétrique à joint 24/40 de 1 litre avec bouchon capillaire 24/40.

4.2 Balance

Balance d'une capacité minimale de 2000 g et d'une précision de 0,1 g.

4.3 Thermomètre

Un thermomètre gradué au 0,1°C entre 20 et 50°C.

5. ECHANTILLONNAGE

5.1 Tout le liquide contenu dans le ballon constitue l'échantillon.

6. MODE OPERATOIRE

6.1 Volumétrie du ballon

Peser le ballon vide avec le bouchon, l'emplir d'eau distillée jusqu'au joint rodé et prendre la température de l'eau. Comblé avec de l'eau distillée jusqu'à ce que celle-ci sorte par le bouchon, essuyer le surplus écoulé sur le ballon et peser. Calculer le volume du ballon en utilisant le volume de 1 g d'eau à la température notée au moment de la pesée (tableau I). Le volume du ballon doit être déterminé au moins 2 fois à une température aussi près que possible de la température habituelle de l'extrait et les valeurs obtenues ne doivent pas différer de plus de $0,3 \text{ cm}^3$.

6.2 Densité du trichloroéthylène

Emplir le ballon de trichloroéthylène et noter sa température; combler avec du trichloroéthylène jusqu'à ce que celui-ci sorte par le bouchon, essuyer le surplus écoulé sur le ballon et peser. La densité du trichloroéthylène doit être effectuée à chaque jour d'utilisation; cette densité doit être la moyenne de deux (2) déterminations exprimées avec 5 chiffres significatifs et ne différant pas de plus de 0,0006.

Lorsque la densité du trichloroéthylène, à une température donnée, est différente de celle indiquée au tableau II pour la même température, ON DOIT TENIR COMPTE DE CETTE DIFFERENCE pour toutes les autres températures. Il faut donc ajouter ou soustraire selon le cas cette différence à la valeur indiquée au tableau II. Cependant, si la différence est en moins et qu'elle excède 0,0020, on ne peut pas utiliser la méthode volumétrique.

NOTE 1 - Une formule aidant à déterminer le volume du ballon et la densité du trichloroéthylène est présentée à l'appendice A.

6.3 Mesure du filler

Recueillir directement dans le ballon tout le trichloroéthylène ayant servi au lavage de l'échantillon. Ajouter du trichloroéthylène jusqu'au joint rodé et prendre la température du contenu du ballon; ajouter de nouveau du trichloroéthylène jusqu'à ce que celui-ci sorte par l'ouverture du bouchon, essuyer le surplus écoulé sur le ballon et peser le tout immédiatement.

NOTE 2 - Lors des mesures de température, la bulle du thermomètre doit être placée au centre du ballon.

7. CALCUL

7.1 Calculer la masse du filler à l'aide de l'équation suivante:

$$M_f = \left(\frac{D_f}{D_f - D_b} \right) \left[M_{bf} - D_b \left(V - \frac{M_{to} - M_{bf}}{D_t} \right) \right]$$

M_f Masse du filler

D_f Densité du filler; utiliser 2,70 pour les fillers de densité comprise entre 2,50 et 2,90

D_b Densité du bitume; utiliser 1,02 pour les bitumes de densité comprise entre 1,015 et 1,025

M_{bf} Masse du bitume et du filler à l'extraction

M_{to} Masse totale: bitume + filler + trichloroéthylène

V Volume du ballon

D_t Densité du trichloroéthylène à la température notée

NOTE 3 - On peut calculer directement la masse du bitume en utilisant la formule présentée à l'appendice B.

Méthode Centrifuge

8. APPAREILLAGE

8.1 Réceptier collecteur

Un réceptier en verre d'au moins 1500 cm³ de capacité.

8.2 Balance

Balance d'une capacité minimale de 1000 g et d'une justesse de 0,01 g.

8.3 Centrifugeuse

Une centrifugeuse modèle "UV International" possédant une vitesse maximum de 6000 tours/minute, équipé d'un compteur de tours approprié, d'une minuterie automatique et pouvant produire une force centrifuge de 900 g (g = accélération gravitationnelle).

8.4 Bouteille à centrifuger

Ces bouteilles doivent avoir une capacité minimale de 225 cm³.

8.5 Cylindre gradué

Un cylindre gradué d'une capacité de 2000 cm³.

9. ECHANTILLONNAGE

9.1 L'échantillon est constitué de deux parties aliquotes de 100 cm³ prélevées dans le liquide provenant de l'extraction contenu dans le récipient collecteur. Ces parties aliquotes sont prélevées conformément à l'article 10.2 du mode opératoire suivant.

10. MODE OPERATOIRE

10.1 Verser tout le liquide provenant de l'extraction dans le cylindre gradué et mesurer le volume total.

10.2 Agiter la solution minutieusement, prélever deux parties aliquotes de 100 ml et les verser dans des bouteilles à centrifuger préalablement pesées; équilibrer les bouteilles en ajoutant du trichloroéthylène propre jusqu'à 25 mm du sommet de la bouteille; introduire les bouteilles dans la centrifugeuse.

10.3 Centrifuger pendant 2 minutes à 2000 tours/minute.

NOTE 4 - Le temps nécessaire à l'appareil pour atteindre la vitesse de 2000 tours/minute est supérieur à 2 minutes.

10.4 Décanter la solution tout en gardant environ 25 mm de solution au fond de la bouteille.

10.5 Répéter la centrifugation, en ajoutant du trichloroéthylène propre à chaque fois, jusqu'à ce que la solution soit de teinte jaune paille.

10.6 Décanter la solution tout en gardant environ 25 mm au fond de la bouteille, sécher le contenu dans la bouteille, au four à 110 ± 5°C, jusqu'à poids constant.

11. CALCUL

11.1 Calculer la masse du filler en fonction du volume total de l'extrait (article 10.1) à l'aide de l'équation suivante:

$$\text{Masse totale du filler} = \frac{M \times A}{100 \text{ cm}^3}$$

où A = volume total de l'extrait (article 10.1)

M = masse du filler (moyenne de 2 parties aliquotes).

11. CALCUL (suite)

NOTE 5 - La masse totale de filler doit être ajoutée à la masse des granulats lors du calcul de la teneur en bitume (LCTQ 05) et lors de l'analyse granulométrique des granulats provenant de l'extraction (méthode LCTQ 08).

NOTE 6 - Un exemple de formule de travail est présenté à l'appendice C.

NOTE 7 - Le tableau II a été établi à partir d'une droite de régression tirée de 35 résultats d'essais faits en laboratoire à différentes températures. L'équation de cette droite est $y = -0,00165 x + 1,4935$, et son coefficient de corrélation est de: 0,998748. Cette équation n'est valable que pour un trichloroéthylène de même densité à la même température; pour un autre trichloroéthylène, on suppose que la droite de régression lui est parallèle.

TABLEAU I

Volume de 1 g d'eau en fonction de la température (°C) .

20,0°C	1,00180	25,0	1,00296
20,1	1,00182	25,1	1,00299
20,2	1,00184	25,2	1,00301
20,3	1,00186	25,3	1,00304
20,4	1,00188	25,4	1,00306
20,5	1,00190	25,5	1,00309
20,6	1,00192	25,6	1,00312
20,7	1,00194	25,7	1,00314
20,8	1,00196	25,8	1,00317
20,9	1,00199	25,9	1,00320
21,0	1,00201	26,0	1,00322
21,1	1,00203	26,1	1,00325
21,2	1,00205	26,2	1,00328
21,3	1,00207	26,3	1,00330
21,4	1,00210	26,4	1,00333
21,5	1,00212	26,5	1,00336
21,6	1,00214	26,6	1,00339
21,7	1,00216	26,7	1,00341
21,8	1,00218	26,8	1,00344
21,9	1,00221	26,9	1,00347
22,0	1,00223	27,0	1,00350
22,1	1,00225	27,1	1,00352
22,2	1,00228	27,2	1,00355
22,3	1,00230	27,3	1,00358
22,4	1,00232	27,4	1,00361
22,5	1,00235	27,5	1,00364
22,6	1,00237	27,6	1,00366
22,7	1,00239	27,7	1,00369
22,8	1,00242	27,8	1,00372
22,9	1,00244	27,9	1,00375

TABLEAU I (suite)

23,0	1,00246	28,0	1,00378
23,1	1,00249	28,1	1,00381
23,2	1,00251	28,2	1,00383
23,3	1,00254	28,3	1,00386
23,4	1,00256	28,4	1,00389
23,5	1,00258	28,5	1,00392
23,6	1,00261	28,6	1,00395
23,7	1,00263	28,7	1,00398
23,8	1,00266	28,8	1,00401
23,9	1,00268	28,9	1,00404
24,0	1,00271	29,0	1,00407
24,1	1,00273	29,1	1,00410
24,2	1,00276	29,2	1,00413
24,3	1,00278	29,3	1,00416
24,4	1,00281	29,4	1,00419
24,5	1,00283	29,5	1,00422
24,6	1,00286	29,6	1,00425
24,7	1,00288	29,7	1,00428
24,8	1,00291	29,8	1,00431
24,9	1,00293	29,9	1,00434

TABLEAU II

Densité du trichloroéthylène en fonction de la température en °C.

TEMP.	DENSITE	TEMP.	DENSITE	TEMP.	DENSITE	TEMP.	DENSITE
20,0	1,4605	24,0	1,4539	28,0	1,4473	32,0	1,4407
20,1	1,4603	24,1	1,4537	28,1	1,4471	32,1	1,4405
20,2	1,4601	24,2	1,4535	28,2	1,4469	32,2	1,4403
20,3	1,4600	24,3	1,4534	28,3	1,4468	32,3	1,4402
20,4	1,4598	24,4	1,4532	28,4	1,4466	32,4	1,4400
20,5	1,4596	24,5	1,4530	28,5	1,4464	32,5	1,4398
20,6	1,4595	24,6	1,4529	28,6	1,4463	32,6	1,4397
20,7	1,4593	24,7	1,4527	28,7	1,4461	32,7	1,4395
20,8	1,4592	24,8	1,4526	28,8	1,4459	32,8	1,4393
20,9	1,4590	24,9	1,4524	28,9	1,4458	32,9	1,4392
21,0	1,4588	25,0	1,4522	29,0	1,4456	33,0	1,4390
21,1	1,4587	25,1	1,4521	29,1	1,4455	33,1	1,4388
21,2	1,4585	25,2	1,4519	29,2	1,4453	33,2	1,4387
21,3	1,4583	25,3	1,4517	29,3	1,4451	33,3	1,4385
21,4	1,4582	25,4	1,4516	29,4	1,4450	33,4	1,4384
21,5	1,4580	25,5	1,4514	29,5	1,4448	33,5	1,4382
21,6	1,4578	25,6	1,4512	29,6	1,4446	33,6	1,4380
21,7	1,4577	25,7	1,4511	29,7	1,4445	33,7	1,4379
21,8	1,4575	25,8	1,4509	29,8	1,4443	33,8	1,4377
21,9	1,4573	25,9	1,4507	29,9	1,4441	33,9	1,4375
22,0	1,4572	26,0	1,4506	30,0	1,4440	34,0	1,4374
22,1	1,4570	26,1	1,4504	30,1	1,4438	34,1	1,4373
22,2	1,4568	26,2	1,4502	30,2	1,4436	34,2	1,4371
22,3	1,4567	26,3	1,4501	30,3	1,4435	34,3	1,4369
22,4	1,4565	26,4	1,4499	30,4	1,4433	34,4	1,4368
22,5	1,4563	26,5	1,4497	30,5	1,4431	34,5	1,4366
22,6	1,4562	26,6	1,4496	30,6	1,4430	34,6	1,4364
22,7	1,4560	26,7	1,4494	30,7	1,4428	34,7	1,4363
22,8	1,4559	26,8	1,4492	30,8	1,4426	34,8	1,4361
22,9	1,4557	26,9	1,4491	30,9	1,4425	34,9	1,4360
23,0	1,4555	27,0	1,4489	31,0	1,4423		
23,1	1,4554	27,1	1,4488	31,1	1,4422		
23,2	1,4552	27,2	1,4486	31,2	1,4420		
23,3	1,4550	27,3	1,4484	31,3	1,4418		
23,4	1,4549	27,4	1,4483	31,4	1,4417		
23,5	1,4547	27,5	1,4481	31,5	1,4415		
23,6	1,4545	27,6	1,4479	31,6	1,4413		
23,7	1,4544	27,7	1,4478	31,7	1,4412		
23,8	1,4542	27,8	1,4476	31,8	1,4410		
23,9	1,4540	27,9	1,4474	31,9	1,4408		

APPENDICE A

Volumétrie du ballon et densité du trichlore

A. Masse du ballon + bouchon + eau _____

B. Masse du ballon + bouchon _____

C. Volume du ballon non corrigé (A - B) _____

D. Volume du ballon corrigé (C x vol. 1g eau à temp. donnée) _____

E. Masse du ballon + bouchon + trichlore _____

F. Masse du ballon + bouchon _____

G. Masse du trichlore (E - F) _____

H. Densité du trichlore (G/D) _____

Température du trichlore _____ °C

Température de l'eau _____ °C

APPENDICE B

Calcul du % de bitume-méthode volumétrique

- A. Masse du ballon + bitume + filler + trichlore _____
- B. Masse du ballon (n° _____) _____
- C. Masse du bitume + filler + trichlore (A - B) _____
- D. Masse du bitume + filler (essais d'extraction) _____
- E. Masse du trichlore (C - D) _____
- F. Volume du ballon (n° _____) _____
- G. Volume du trichlore (E/D_t) _____
- H. Volume du bitume + filler (F - G) _____
- I. Masse du bitume $K [(D_f \times H) - D]$ _____
- J. Masse du filler (D - I) (reporter au passant tamis 75 um) _____

$$K = \frac{D_b}{D_f - D_b} = \frac{1,02}{2,7 - 1,02} = 0,607$$

D_b (Densité du bitume) 1,02

D_f (Densité du filler) 2,7

D_t (Densité du trichlore) _____

Température du trichlore (°C) _____

APPENDICE C

Récupération de filler par la méthode centrifuge

- 1- A- Volume total du liquide récupéré _____
- B- Masse de la bouteille + filler _____
- C- Masse de la bouteille (N° _____) _____
- D- Masse du filler (B - C) _____
- 2- E- Masse de la bouteille + filler _____
- F- Masse de la bouteille (N° _____) _____
- G- Masse du filler (E - F) _____
- H- Masse moyenne du filler $\frac{(D + G)}{2}$ _____
- I- Masse totale du filler $\frac{(H \times A)}{100 \text{ cm}^3}$ _____

Justesse de la teneur en bitume

LCTQ 07

METHODE DE MESURE DE LA JUSTESSE DE LA TENEUR EN BITUME TROUVEE LORS DE L'ESSAI D'EXTRACTION

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur des méthodes similaires utilisées dans divers Etats américains.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique aux mélanges bitumineux qui sont soumis à l'essai d'extraction (LCTQ 05).

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Norme ASTM

D-2172 Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures.

3.2 Norme de l'Arizona

407 A Determination of Bitumen Retained in Bituminous Mixtures.

3.3 Normes LCTQ

LCTQ 05 Méthode d'extraction du bitume contenu dans les mélanges bitumineux.

LCTQ 06 Méthode de mesure du filler minéral contenu dans l'extrait.

4. RESUME DE LA METHODE

4.1 La méthode consiste à fabriquer un mélange bitumineux avec des granulats et une teneur en bitume connue; on compare ensuite la teneur en bitume mise dans ce mélange avec celle qui est trouvée lorsqu'on le soumet à l'essai d'extraction (LCTQ 05).

5. SIGNIFICATION ET EMPLOI

5.1 La présente méthode est utilisée pour corriger le résultat de la teneur en bitume trouvée lors de l'essai d'extraction. La correction trouvée est propre à chaque laboratoire et à chaque façon utilisée, ainsi qu'à chaque type de mélange et catégorie de bitume.

6. DEFINITION

6.1 La justesse de la teneur en bitume telle que déterminée dans cette méthode est l'écart entre la vraie valeur et celle qui est retrouvée lors de l'essai d'extraction.

7. APPAREILLAGE

7.1 Appareillage d'extraction

Tout l'appareillage nécessaire à l'exécution des essais d'extraction (LCTQ 05) et de mesure du filler (LCTQ 06).

7.2 Réipients

Réipients métalliques pour chauffer les granulats et le bitume.

7.3 Thermomètres

Thermomètres ayant les graduations de 10°C à 230°C pour les granulats et le bitume.

7.4 Spatule

Spatule ayant une lame d'environ 25 mm de largeur et 150 mm de longueur.

8. MODE OPERATOIRE

8.1 Préparer pour chaque formule de mélange une série de trois éprouvettes d'essai.

8.2 Placer à l'étuve les trois mélanges de granulats et porter à une température de 110°C ± 5°C.

8.3 Amener le bitume à une température de 110 ± 5°C.

8.4 Placer le bol de l'extracteur (chaud) sur la balance, le peser, verser les granulats dans le bol et peser.

8.5 Transvider la masse de bitume désirée, peser, placer le filtre asséché et peser.

8.6 Remettre à l'étuve et porter tout l'échantillon à 150 ± 10°C.

8.7 Mélanger parfaitement avec la spatule, préalablement pesée, les granulats et le bitume jusqu'à ce que le bitume soit uniformément réparti (environ 2 minutes). Nettoyer la spatule sur le rebord du bol et la peser; sa masse ne doit pas avoir augmenté de plus de 0,1 g. Peser ensemble, après malaxage, le bol, le mélange et le filtre; cette pesée ne doit pas différer de plus de 0,3 g de celle qui a été relevée avant malaxage.

NOTE 1 - Pour les laboratoires ne possédant pas de bol extracteur suffisamment grand pour y effectuer le malaxage, on peut y remédier en utilisant un plat auxiliaire avec application des modifications suivantes: transvider le mélange du plat auxiliaire dans le bol extracteur et, à l'aide du trichloroéthylène devant servir au premier lavage, nettoyer à fond le plat auxiliaire et vider dans le bol extracteur. Si le nettoyage du plat auxiliaire nécessite plus de 250 cm³, verser l'excédent aux lavages subséquents.

8.8 Poursuivre l'essai d'extraction selon la norme LCTQ 05 avec la méthode volumétrique de calcul du filler minéral (LCTQ 06).

9. CALCUL

9.1 Le facteur de correction est déterminé en soustrayant de la teneur en bitume mise dans le mélange la teneur en bitume trouvée lors de l'essai d'extraction.

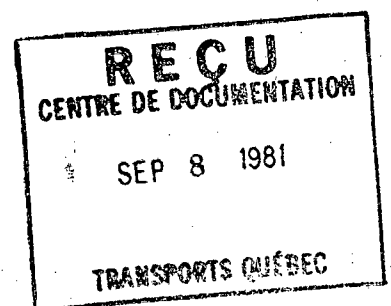
10. RAPPORT

10.1 La moyenne des trois résultats est rapportée.

11. PRECISION

11.1 La différence maximale acceptable entre le % le plus haut et le % le plus bas est 0,10.

NOTE 2 - Une formule de travail est présentée en appendice.



APPENDICE

- A. Masse du bol (chaud) _____
- B. Masse du bol + granulats _____
- C. Masse des granulats (B - A) _____
- D. Masse du bol + granulats + bitume _____
- E. Masse du bitume (D - B) _____
- F. Masse du mélange (D - A) _____
- G. Masse du bol + granulats + bitume + filtre asséché _____
- H. Masse du bol + granulats + bitume + **filtre asséché**
(cette pesée s'effectue après le malaxage) _____
- I. Masse du bol + granulats + filtre
(cette pesée s'effectue après le séchage) _____
- K. Masse de la perte par lavage (G - I) _____
- L. Masse du filler perdu (méthode volumétrique) _____
- M. Masse du bitume retrouvé (K - L) _____
- N. Masse du bitume retenu (E - M) _____
- O. Facteur de rétention (N/F x 100)

- 1. Masse de la spatule avant le malaxage _____
- 2. Masse de la spatule après le malaxage _____
- 3. Différence devra être de 0,1 g **ou** _____
moins

Analyse granulométrique

ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur la norme ASTM C-136.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique à l'analyse granulométrique des granulats gros et fins provenant de l'essai d'extraction (LCTQ 05) exécuté sur un mélange bitumineux.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Normes ASTM

C-136 Sieve or Screen Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

C-670 Recommended Practice for Preparing Precision Statements for Test Methods for Construction Material.

E-11 Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes.

3.2 Normes LCTQ

LCTQ 05 Méthode d'extraction du bitume contenu dans les mélanges bitumineux.

LCTQ 06 Méthode de mesure du filler minéral contenu dans l'extrait.

4. RESUME DE LA METHODE

4.1 On pèse l'échantillon de granulats secs provenant de l'essai d'extraction et on procède à son tamisage sur une série de tamis aux mailles de plus en plus petites, ce qui permet d'établir la granulométrie des granulats.

5. SIGNIFICATION ET EMPLOI

5.1 La granulométrie des granulats sert dans le calcul de la surface spécifique des granulats et du pourcentage de bitume effectif à inclure dans un mélange.

6. DEFINITION

6.1 L'analyse granulométrique est le classement en pourcentage des particules de différentes grosseurs qui forment un mélange de granulats secs.

7. APPAREILLAGE

7.1 Balance

Elle doit être précise à 0,1% près de la masse de l'échantillon.

7.2 Tamis

Ils doivent être montés sur des cadres de grande solidité et ils doivent interdire les pertes de matériaux en cours de tamisage. On choisit des tamis de taille convenable, c'est-à-dire susceptibles de conduire aux renseignements exigés par les spécifications applicables aux matériaux soumis à l'essai. Les tamis doivent être conformes à la norme ASTM E-11.

7.3 Tamiseur mécanique

On recommande l'utilisation d'un système mécanique pouvant satisfaire l'exigence de l'article 9.2.

8. ECHANTILLONNAGE

8.1 L'échantillon de granulats destiné à l'analyse granulométrique provient de l'essai d'extraction sur le mélange bitumineux immédiatement après le séchage. Pour éviter d'avoir une masse trop grande retenue sur un tamis, lorsque la masse de l'échantillon est supérieure à 1500 g, on peut être obligé de réduire l'échantillon conformément à la norme intitulée "Echantillonnage de mélange bitumineux en laboratoire" ou procéder en deux ou plusieurs étapes.

9. MODE OPERATOIRE

9.1 Emboîter les tamis en les classant de haut en bas dans l'ordre de maille décroissante et verser l'échantillon dans le tamis supérieur. Agiter manuellement ou mécaniquement la colonne de tamis pendant une durée que l'on aura établie par des essais préalablement effectués sur l'échantillon. Ces essais sont décrits dans le paragraphe 9.2.

NOTE 1 - Avec le système mécanique de type "RO-TAP", la durée de tamisage est de 20 minutes.

9.2 D'une manière générale, on peut considérer que le tamisage est terminé lorsque le refus restant sur un tamis donné ne se modifie pas de plus de 1% en 1 minute de tamisage manuel continu, exécuté conformément au mode opératoire suivant: on tient le tamis, muni de son réceptacle et de son couvercle, et on l'incline légèrement. De la main restée libre, on frappe le côté du tamis dans un mouvement ascendant, à la cadence d'environ 150 fois par minute, en veillant à imprimer au tamis un sixième de tour à tous les 25 chocs. Dans le cas des tamis à ouverture supérieure à 4,75 mm, on limitera la quantité de matériau placée sur le tamis à une seule couche d'éléments.

9.3 Déterminer la masse de chaque fraction par pesée sur une balance conforme aux spécifications du paragraphe 7. Cette pesée doit être effectuée à 0,1 pour cent près de la masse de l'échantillon.

10. CALCULS

10.1 Les pourcentages sont calculés sur la base de la masse totale de l'échantillon, y compris les matériaux passant le tamis 75 µm ainsi que le filler perdu lors de l'essai d'extraction (LCTQ 06).

10.2 Additionner les pourcentages passant les tamis suivants: 19 mm 12,5 mm 9,5 mm 4,75 mm 2,36 mm 1,18 mm 600 µm 300 µm 150 µm et 75 µm, afin d'obtenir le total granulométrique.

11. RAPPORT

11.1 Le rapport de l'essai doit être écrit et comporter les renseignements suivants:

11.1.1 Le pourcentage total de passant dans chaque tamis.

11.1.2 Le pourcentage total de refus sur chaque tamis.

11.1.3 Le total granulométrique.

11.1.4 Le pourcentage de refus entre deux tamis consécutifs, compte tenu des spécifications relatives à l'emploi du matériau visé par l'essai.

NOTE 2 - Les pourcentages sont exprimés sans décimale, sauf dans le cas des tamisats au tamis 75 µm où ils doivent être donnés à la première décimale près.

12. PRECISION

12.1 Dans le cas des granulats de 19,0 mm de grosseur nominale maximale, la précision est donnée par les indices figurant dans le tableau 1. Les valeurs sont données pour différents intervalles de pourcentages de granulats retenus entre deux tamis consécutifs.

TABLEAU 1

	% retenu entre 2 tamis consécutifs	Coefficient de varia- tion (1σ%), % (a)	Ecart-type (1σ), %	Différence entre 2 essais	
				% de moyenne	(D2σ) %
Plusieurs laboratoires	0 - 3	35		99	
	3 - 10	—	1,2	—	3,4
	10 - 20	—	1,7	—	4,8
	20 - 50	—	2,2	—	6,2
Un seul	0 - 3	30		85	
	3 - 50		1,4		4,0

(a) Ces nombres représentent respectivement les limites (1σ%) et (D2σ%) de la norme ASTM C-670.

Densité maximale

LCTQ 09

METHODE DE MESURE DE LA DENSITE MAXIMALE DES
MELANGES BITUMINEUX POUR REVETEMENTS ROUTIERS

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur la norme ASTM D-2041.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique à la mesure de la densité maximale des mélanges bitumineux non compactés et destinés aux revêtements routiers.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Norme ASTM

D-2041 Theoretical Maximum Specific Gravity of Bituminous Paving Mixtures.

3.2 Norme LCTQ

LCTQ 01 Echantillonnage de mélange bitumineux en laboratoire.

4. RESUME DE LA METHODE

4.1 On chasse l'air emprisonné dans l'échantillon en le soumettant à un vide partiel et ensuite par mesure de sa masse et de celle d'un égal volume d'eau, on détermine sa densité maximale.

5. SIGNIFICATION ET EMPLOI

5.1 On utilise cette méthode dans la détermination des pourcentages de vides, de compactage et d'absorption de bitume. Elle sert aussi dans le calcul des mélanges ainsi que les contrôles de qualité et d'acceptation.

Puisque la densité n'a pas d'unité, elle peut être multipliée par la masse volumique de l'eau pour effectuer des calculs avec unités.

6. DEFINITION

6.1 La densité mesurée par la présente méthode est le rapport de la masse d'un volume donné de matériau à 25°C (ou à une température donnée) à celle d'un égal volume d'eau à la même température.

7. APPAREILLAGE

7.1 Réceptient

7.1.1 Trois variantes de la technique de saturation sous vide sont données et mettent en oeuvre des réceptients de formes et tailles différentes. On distingue donc trois types de réceptients:

7.1.1.1 Type A

Cuvette en verre ou plastique de 1000 cm³ de capacité minimale.

7.1.1.2 Type B

Ballon jaugé de 1000 cm³ de capacité minimale ou flacon cylindrique d'un diamètre d'au moins 100 mm et de 1500 cm³ de capacité minimale.

7.1.1.3 Type C

Pycnomètre de taille moyenne, à paroi en verre épais, d'environ 4000 cm³ de capacité.

7.1.2 La capacité du réceptient est fonction de la taille minimale de l'échantillon prescrite à l'article 9.2.

7.1.3 Les réceptients doivent être en mesure de résister au vide absolu et sont munis de fermetures conformes aux prescriptions suivantes:

7.1.3.1 Couvercle muni d'une garniture de joint en caoutchouc et d'un raccord flexible à utiliser avec le réceptient type A.

7.1.3.2 Bouchon en caoutchouc muni d'un raccord flexible à utiliser avec le ballon jaugé ou le flacon cylindrique (type B).

7.1.3.3 Fermeture résistant au vide et composée des éléments suivants: vacuomètre, soupape de sûreté, raccord flexible et bouchon conique pour régulation du volume. Cette fermeture est à utiliser avec le pycnomètre (type C).

NOTE 1 - On peut employer en guise de récipient (type A) la partie inférieure d'un appareil de distillation à double ébullition fabriqué en verre borosilicaté et ayant une capacité de 1,4 litre.

7.2 Agitateur mécanique

Un système d'agitation mécanique fournissant environ 180 oscillations/minute.

7.3 Balance

Elle doit être de portée suffisante, et avoir une précision permettant le calcul de la densité des échantillons à au moins quatre chiffres significatifs près, c'est-à-dire à trois décimales près. Dans le cas de la méthode faisant appel à l'emploi de la cuvette (type A), la balance doit être munie d'un dispositif de suspension convenable et d'un support permettant la pesée de l'échantillon suspendu au centre du plateau de l'instrument.

NOTE 2 - Etant donné que le quotient (densité) ne contient pas plus de chiffres significatifs que le dividende (masse de l'échantillon dans l'air) ni que le diviseur (masse de l'eau déplacée), il s'ensuit que la balance doit avoir une appréciation de lecture permettant l'expression de la masse à au moins quatre chiffres près. Dans ces conditions, on a les recommandations précises suivantes: 1) Cas de la cuvette (type A) ou de ballon jaugé (type B): balance de 2500 g de capacité et de 0,1 g de justesse; 2) Cas du pycnomètre en verre de 4000 cm³ de capacité (type C): balance de 10 kg de capacité et de 0,5 g de justesse.

7.4 Pompe à vide ou trompe à eau

Elle doit pouvoir amener le récipient à une pression égale ou inférieure à 30 mm de mercure (4 kPa) (voir 10.3).

7.5 Manomètre ou vacuomètre

Il doit pouvoir mesurer le vide prescrit ci-dessus.

7.6 Bain d'eau

7.6.1 Dans le cas des récipients de type A, B ou C, on doit employer un bain d'eau maintenu à température constante et ayant une taille adaptée au récipient à utiliser.

7.6.2 L'usage de la technique de la pesée dans l'eau (cf. article 10.4.1) exige l'utilisation d'un bain d'eau convenant à l'immersion du récipient suspendu et de l'échantillon désaéré.

7.7 Thermomètre

Le thermomètre doit être précis à $0,1^{\circ}\text{C}$ entre 20 et 50°C .

7.8 Appareillage divers

On recommande l'installation d'un piège convenable (un erlenmeyer, par exemple) dans la conduite afin d'empêcher la pénétration de l'eau dans la pompe à vide. Il est également conseillé de monter un robinet en plastique à fermeture par torsion à la sortie du ballon ou du pycnomètre afin, notamment, de réduire au minimum les pertes d'eau pendant que l'on procède à l'opération de secouement et d'assurer la disjonction rapide du récipient en cas de mauvais fonctionnement ou de formation de mousse. Dans le cas des récipients en verre, on aura soin de travailler sur un tapis en caoutchouc ou en plastique résistant afin d'éviter les chocs contre une surface dure, toujours dangereux pour les récipients mis sous vide.

8. ETALONNAGE DES RECIPIENTS

8.1 Dans le cas de la méthode par pesée dans l'eau (cf. article 10.4.1), l'étalonnage du ballon (type B) doit tenir compte des variations de température susceptibles de se produire dans le bain d'eau. C'est pourquoi l'on mesure la masse du ballon plongé dans l'eau pour différentes températures se situant dans l'intervalle de celles du bain d'eau (cf. figure 1).

8.2 Dans le cas de la méthode avec pycnomètre, on le remplit d'eau à $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et on mesure avec précision la masse de cette eau. Permettre à l'eau de déborder par le tube capillaire pendant que l'on introduit le bouchon. S'assurer que le tube est plein et qu'aucune bulle d'air ne s'est formée pendant l'heure d'immersion du pycnomètre dans le bain d'eau à température constante. En l'absence de bouchon à tube capillaire, on utilise une plaque de verre et on procède tel que décrit à l'annexe III.

NOTE 3 - L'allure de la courbe d'étalonnage est fonction de deux facteurs qui s'opposent, mais que l'on peut définir de façon rationnelle. L'élévation de température provoque la dilatation thermique du récipient (augmentation de masse - courbe "pycnomètre" de la figure 3) et la diminution de la masse volumique de l'eau contenue dans le pycnomètre (perte de masse-courbe "eau" de la figure 3). Ces relations sont données dans la figure 3 pour un grand pycnomètre ($10\ 000\ \text{cm}^3$). La courbe "eau" peut être obtenue par multiplication du volume à 25°C par la différence entre la masse volumique de l'eau à 25°C (qui est égale à 0,99704) et sa masse volumique à la température d'étalonnage.

Différence attribuable à la dilatation de l'eau =

$$V_{25} (0,99704 - dw)$$

Etant donné que:

$$V_{25} = \frac{M_{25}}{0,99704}$$

L'expression $V_{25} (0,99704 - dw)$ se ramène à:

$$M_{25} \left(1 - \frac{dw}{0,99704} \right)$$

Dans ce qui précède, on a:

V_{25} = volume d'eau à 25°C ayant servi à remplir le récipient (cm³)

M_{25} = masse de cette eau (g)

dw = masse volumique de l'eau à la température d'étalonnage en g/cm³.

La vitesse à laquelle augmente la capacité du pycnomètre sous l'effet de la dilatation thermique est essentiellement constante dans l'intervalle des températures comprises entre 20 et 65°C. Pour tracer la courbe "pycnomètre" de la figure 3, il suffit d'en connaître la pente, puisque la courbe passe le point ayant pour coordonnées 0 (gramme) et 25 (°C). Pour calculer la valeur de la pente, on procède de la manière suivante: calculer la moyenne d'au moins cinq pesées d'étalonnage à température élevée, ajouter au résultat la perte attribuable à la dilatation de l'eau, puis soustraire la masse à 25°C (c'est-à-dire M_{25}) pour obtenir l'augmentation de capacité attribuable à la dilatation du récipient. La différence de masse, divisée par la différence de température, donne la pente de la courbe "pycnomètre".

La courbure de la courbe d'étalonnage (cf. figure 2), qui est attribuable à ces facteurs thermiques ayant pour effet de se neutraliser, réduit donc au minimum l'erreur expérimentale découlant des effets de température dans l'intervalle normal de travail (25°C), aussi bien dans le cas du ballon jaugé (type B) que dans celui du pycnomètre (type C). La courbe d'étalonnage permet d'effectuer des corrections de température qui dispensent l'opérateur d'avoir à "amener l'eau à température voulue", d'où économie (élimination du bain-marie) et amélioration de la justesse (emploi d'échantillons de plus grande taille), sans compter un gain de temps appréciable dans la réalisation de l'essai.

8.3 Même s'il suffit d'un seul étalonnage dans le cas du ballon (type B) et du pycnomètre (type C), il n'en reste pas moins que l'on doit procéder de temps en temps à la vérification des valeurs d'étalonnage, notamment à la température de 25°C. On doit tenir le matériel dans un état de parfaite propreté et éviter les accumulations susceptibles de faire varier la masse, surtout si l'on veut maintenir la constance du volume étalonné. On aura soin d'employer des solvants convenables, particulièrement dans le cas des récipients en plastique et d'éviter le vide poussé dans les récipients en verre qui ont été égratignés ou endommagés.

9. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

9.1 Prélever l'échantillon conformément aux prescriptions de la méthode LCTQ 01.

9.2 La taille de l'échantillon doit être conforme aux prescriptions ci-après. Dans le cas des échantillons dont le volume dépasse la capacité du récipient, on peut les séparer en plusieurs portions qui feront chacune l'objet d'une mesure de la densité.

<u>Grosseur maximale du granulat du mélange (mm)</u>	<u>Taille minimale de l'échantillon (g)</u>
50	6000
37,5	4000
25	2500
19	2000
12,5	1500
9,5	1000
4,75	500

NOTE 4 - La grosseur maximale d'un granulat est donnée par la dénomination du plus petit tamis de la série ci-dessus où passent 100% des particules.

10. MODE OPERATOIRE

10.1 Séparer les particules de l'échantillon et veiller à ne pas fracturer les particules minérales. Procéder de façon que les particules formant la portion des granulats fins ne dépassent 6,4 mm de grosseur. Dans le cas des mélanges trop durs pour être séparés à la main, on met l'échantillon sur un plateau et on le chauffe avec précaution jusqu'à ce qu'il devienne maniable.

10.2 Refroidir l'échantillon pour l'amener à la température de la pièce, puis le mettre dans un récipient et le peser. Désigner par A la masse nette de l'échantillon, ajouter assez d'eau à environ 25°C pour recouvrir l'échantillon.

10.3 Soumettre le contenu à un vide partiel afin de chasser l'air. On emploie une pression absolue égale ou inférieure à 30 mm de mercure (4 kPa) pendant 15 à 20 minutes. (Voir note 5). Cette pression équivaut à environ 730 mm (28,7 po) Hg lorsque la lecture est faite au moyen d'un vacuomètre au niveau de la mer. Agiter le récipient et son contenu au moyen d'un dispositif mécanique. Les récipients en verre doivent être agités au-dessus d'une surface en caoutchouc ou en plastique afin d'éviter les chocs pendant qu'ils sont soumis au vide. Faire le vide progressivement, puis le diminuer graduellement au moyen du robinet de purge.

NOTE 5 - Les mélanges pauvres exigent moins de temps et d'agitation que les mélanges riches. En règle générale, il vaut mieux avoir recours au temps minimal pour l'évacuation de tout l'air libre. Le recours à des temps plus longs risque de provoquer des erreurs attribuables à la pénétration de l'eau sous la couche de bitume (cf. article 12). Pour un mélange donné, le temps optimal peut être établi par réductions successives du temps d'essai jusqu'à obtention d'une densité inférieure à celle que l'on escompte.

10.4 Après évacuation de l'air (10.3), procéder sans délai à l'une des mesures suivantes:

10.4.1 Pesée dans l'eau

Suspendre la cuvette (type A) ou le ballon (type B) contenant l'échantillon dans le bain d'eau. Enregistrer la pesée au bout de 3 minutes d'immersion (minimum). Mesurer la température du bain d'eau. Soustraire du poids total le poids du ballon dans l'eau à la température de l'essai en utilisant la courbe d'étalonnage établie conformément à l'article 8.1. Désigner par C le poids net de l'échantillon dans l'eau.

10.4.2 Cas des pycnomètres

Remplir d'eau le ballon (type B) ou le pycnomètre (type C) et les mettre dans le bain d'eau pour en amener le contenu à $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Au bout de 10 ± 1 minute (à compter de la fin de l'étape décrite à 10.3), mesurer la masse totale du récipient (y compris le contenu) complètement rempli conformément à l'article 8.2. Désigner cette masse par E.

11. CALCULS

11.1 Calculer la densité de l'échantillon conformément aux prescriptions ci-après.

11.1.1 Cas de la pesée dans l'eau

a) Utiliser l'équation suivante si l'essai est effectué à $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

$$\text{Densité} = \frac{A}{A - C} \quad (1)$$

dans cette équation, (voir annexe IV, page 66A)

A = masse de l'échantillon sec dans l'air (g)

C = masse de l'échantillon dans l'eau (g)

b) Si la température de l'essai s'écarte de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, on doit utiliser l'équation suivante:

$$\text{Densité} = \frac{A}{A - C} \times \frac{dw}{0,99704}$$

A = masse de l'échantillon sec dans l'air

C = masse de l'échantillon dans l'eau.

11.1.2 Cas du pycnomètre

a) Utiliser l'équation suivante si l'essai est effectué à $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

$$\text{Densité} = \frac{A}{A + D - E} \quad (2)$$

A = masse de l'échantillon sec dans l'air

D = masse du récipient rempli d'eau à 25°C

E = masse du récipient rempli d'eau et contenant l'échantillon (à 25°C)

b) Si la température de l'essai s'écarte de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, utiliser l'équation suivante:

$$\text{Densité} = \frac{A}{(A+F) - (B+H)} \times \frac{dw}{0,99704} \quad (3)$$

A = masse de l'échantillon sec dans l'air

F = masse du pycnomètre plein d'eau à la température de l'essai (figure 2)

B = masse du pycnomètre plein d'eau et contenant l'échantillon à la température de l'essai

H = correction de la dilatation thermique du bitume (figure 4)

dw = masse volumique de l'eau à la température de l'essai (figure 5)

0,99704 = masse volumique de l'eau à 25°C

Les tableaux I, II et III donnent la masse volumique de l'eau et les rapports pour diverses températures.

12. MODE OPERATOIRE SUPPLEMENTAIRE DESTINE AUX MELANGES CONTENANT DES GRANULATS POREUX ET INCOMPLETEMENT ENROBES

12.1 Lorsque les pores des granulats ne sont pas rigoureusement bouchés par le bitume, ils sont susceptibles d'être saturés par l'eau au cours de l'opération d'évacuation de l'air. Pour savoir s'il y a eu saturation, procéder de la manière suivante après avoir franchi les étapes prescrites dans les articles 10.4.1, 10.4.2 ou 10.4.3: séparer l'eau de l'échantillon et, pour éviter les pertes de fines, procéder à la décantation de l'eau par passage dans une serviette appliquée contre l'ouverture du récipient. Rompre plusieurs gros granulats et examiner les surfaces dévoilées par la rupture afin d'y déceler la présence d'humidité.

12.2 Lorsqu'il y a eu absorption d'eau par le granulat, procéder de la manière suivante: étendre l'échantillon et en chasser l'humidité de surface en le plaçant devant un ventilateur. Procéder à la pesée de l'échantillon à des intervalles de 15 minutes jusqu'à ce que la perte de masse devienne inférieure à 0,05%; on peut alors estimer que l'échantillon est sec en surface. Cette façon d'opérer exige 2 heures environ et doit être accompagnée d'un brassage intermittent de l'échantillon. On veillera à rompre à la main les agglomérats de granulats et à éviter les pertes de matière.

12.3 Pour calculer la densité de l'échantillon, on remplace la valeur de A dans les dénominateurs des équations (1), (2) ou (3) par celle de la masse définitive à l'état sec de surface.

13. RAPPORT

13.1 Le rapport de l'essai doit être écrit et comporter les renseignements suivants:

13.1.1 Densité du mélange exprimée à la troisième décimale près et à 25/25°C.

13.1.2 Type du mélange.

13.1.3 Taille de l'échantillon.

13.1.4 Nombre des échantillons.

13.1.5 Type de récipient.

13.1.6 Mode opératoire utilisé.

14. PRECISION

14.1 Les critères d'acceptabilité des résultats obtenus par la présente méthode sont donnés dans le tableau suivant:

Type d'essai	Ecart-type (σ)	Intervalle d'acceptation de 2 résultats ($D2\sigma$)
Résultats obtenus sans le recours au mode opératoire de l'article 12 (cf. note a):		
par un seul opérateur	0,0040	0,011
par plusieurs laboratoires	0,0064	0,019
Résultats obtenus avec le recours au mode opératoire de l'article 12 (cas de la cuvette seulement) (cf. note b)		
par un seul opérateur	0,0064	0,018
par plusieurs laboratoires	0,0193	0,055

NOTE a: ces chiffres sont fondés sur des essais exécutés en triple sur 5 matériaux, dans 5 laboratoires.

NOTE b: ces chiffres sont fondés sur des essais exécutés en double sur 7 matériaux, dans 20 laboratoires.

14.2 Les chiffres de la colonne 2 représentent les écarts-types que l'on juge acceptables dans les conditions d'essai données dans la colonne 1. Les chiffres de la colonne 3 représentent les limites admissibles de l'écart entre les résultats donnés par deux essais convenablement exécutés. La précision des essais réalisés dans plusieurs laboratoires n'a pas été établie pour le cas du pycnomètre de 4000 cm³ (type C).

ANNEXE I

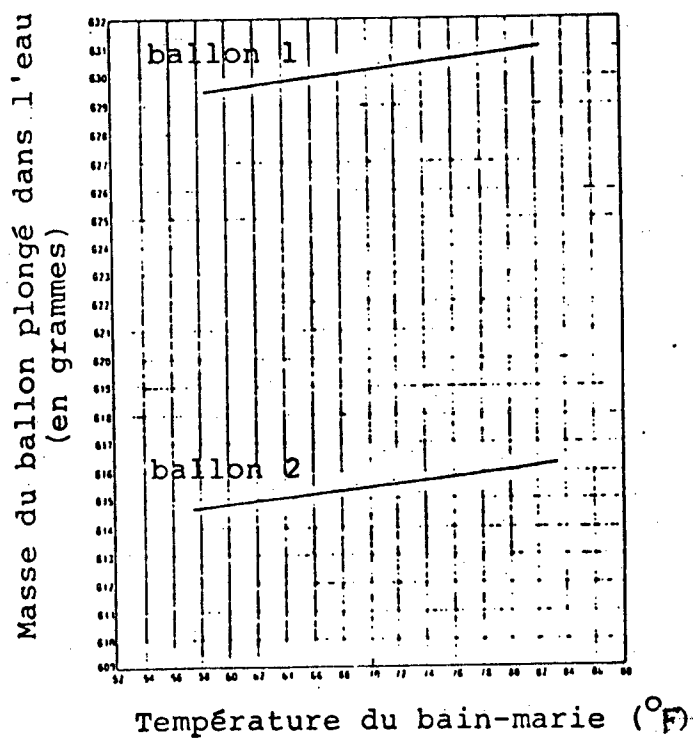


Figure 1 - Exemple de courbe d'étalonnage pour ballon jaugé (type B).

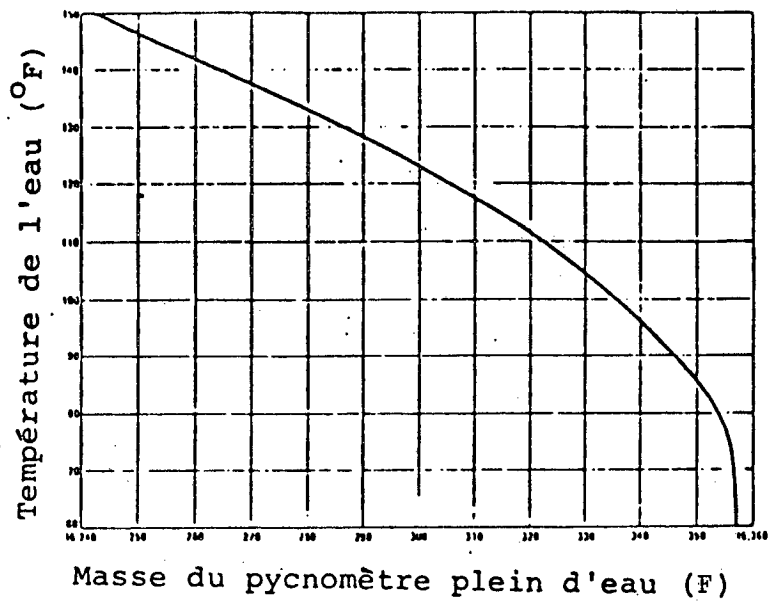


Figure 2 - Exemple de courbe d'étalonnage (cas des pycnomètres)

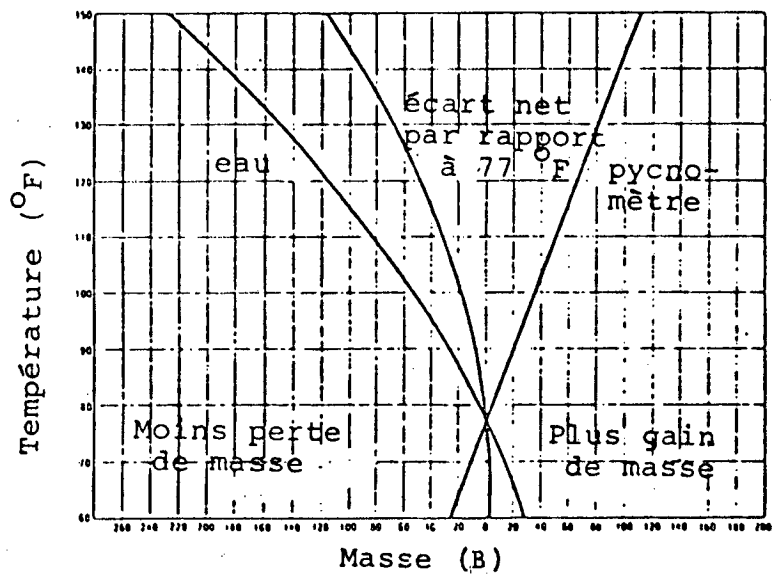
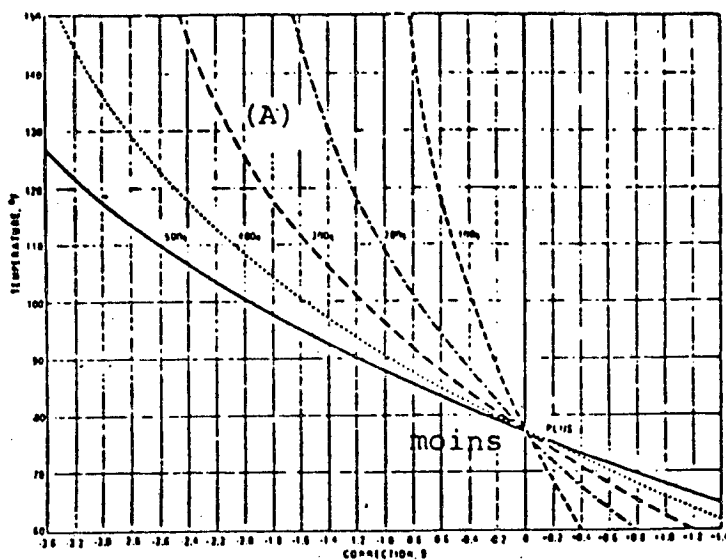


Figure 3 - Effet de la variation de la masse volumique de l'eau et du volume du pycnomètre en fonction de la température.



(A) Masse de bitume dans l'échantillon

Figure 4 - Courbes de correction des effets de la dilatation thermique du bitume (valeur dénotée par H dans l'équation (3)).

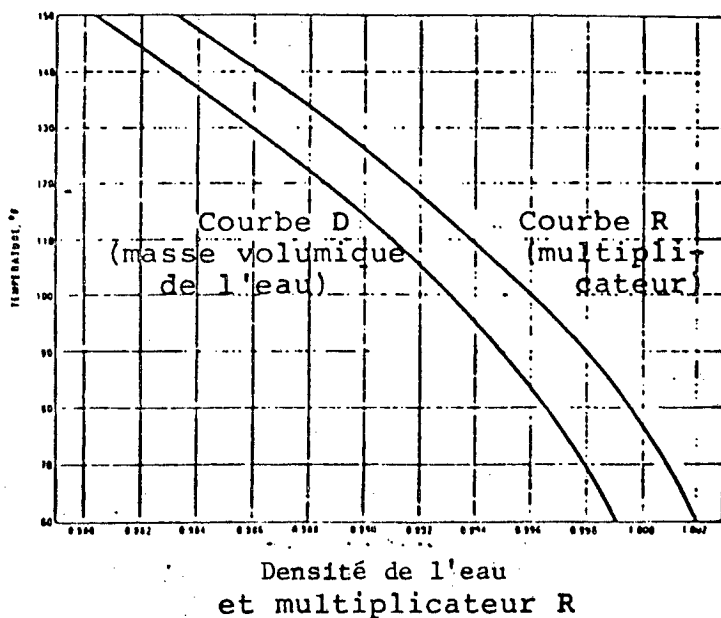


Figure 5 - Courbes D et R pour l'équation (3)

ANNEXE II

TABLEAU I

Masse volumique de l'eau de 15.0 °C à 30.9 °C

Compilation extraite de la valeur absolue à 3.98°C du Bureau International des poids et mesures (1910) et des valeurs relatives de "Tbiesen, Scheeland Disselhorst (1900)"

DEGRÉS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	0,999099	084	069	054	038	023	007	**991	**975	**959
16	0,998943	926	910	893	877	860	843	826	809	792
17	0,998774	757	739	722	704	686	668	650	632	613
18	0,998595	576	558	539	520	501	482	463	444	424
19	0,998405	385	365	345	325	305	285	265	244	224
20	0,998203	183	162	141	120	099	078	056	035	013
21	0,997992	970	948	926	904	882	860	837	815	792
22	0,997770	747	724	701	678	655	632	608	585	561
23	0,997538	514	490	466	442	418	394	369	345	320
24	0,997296	271	246	221	196	171	146	120	095	069
25	0,997044	018	* 992	* 967	* 941	* 914	* 888	* 862	* 836	* 809
26	0,996783	756	729	703	676	649	621	594	567	540
27	0,996512	485	457	429	401	373	345	317	289	261
28	0,996232	204	175	147	118	089	060	031	002	995973
29	0,995944	914	885	855	826	796	766	736	706	676
30	0,995646	616	586	555	525	494	464	433	402	371

** Ces chiffres doivent être précédés de 0,998

* Ces chiffres doivent être précédés de 0,996

TABLEAU II

Rapport de la masse volumique de l'eau à T°C sur celle à 25 °C: $\frac{m \text{ à } T^{\circ}\text{C}}{,997044}$

15,0	1,002061	18,0	1,001555	21,0	1,000950	24,0	1,000252	27,0	,999466
15,1	1,002046	18,1	1,001536	21,1	1,000928	24,1	1,000227	27,1	,999439
15,2	1,002031	18,2	1,001518	21,2	1,000906	24,2	1,000202	27,2	,999411
15,3	1,002016	18,3	1,001499	21,3	1,000884	24,3	1,000177	27,3	,999383
15,4	1,001999	18,4	1,001480	21,4	1,000862	24,4	1,000152	27,4	,999355
15,5	1,001984	18,5	1,001461	21,5	1,000840	24,5	1,000127	27,5	,999327
15,6	1,001968	18,6	1,001442	21,6	1,000818	24,6	1,000102	27,6	,999298
15,7	1,001952	18,7	1,001423	21,7	1,000795	24,7	1,000076	27,7	,999270
15,8	1,001936	18,8	1,001404	21,8	1,000773	24,8	1,000051	27,8	,999242
15,9	1,001920	18,9	1,001384	21,9	1,000750	24,9	1,000025	27,9	,999214
16,0	1,001904	19,0	1,001365	22,0	1,000728	25,0	1,000000	28,0	,999185
16,1	1,001887	19,1	1,001345	22,1	1,000705	25,1	,999973	28,1	,999157
16,2	1,001871	19,2	1,001324	22,2	1,000682	25,2	,999947	28,2	,999128
16,3	1,001854	19,3	1,001304	22,3	1,000658	25,3	,999922	28,3	,999100
16,4	1,001838	19,4	1,001284	22,4	1,000635	25,4	,999896	28,4	,999071
16,5	1,001821	19,5	1,001264	22,5	1,000612	25,5	,999869	28,5	,999042
16,6	1,001804	19,6	1,001244	22,6	1,000589	25,6	,999843	28,6	,999013
16,7	1,001787	19,7	1,001224	22,7	1,000565	25,7	,999817	28,7	,998984
16,8	1,001770	19,8	1,001203	22,8	1,000542	25,8	,999791	28,8	,998954
16,9	1,001753	19,9	1,001183	22,9	1,000518	25,9	,999764	28,9	,998925
17,0	1,001735	20,0	1,001162	23,0	1,000495	26,0	,999738	29,0	,998896
17,1	1,001718	20,1	1,001142	23,1	1,000471	26,1	,999711	29,1	,998866
17,2	1,001700	20,2	1,001121	23,2	1,000447	26,2	,999684	29,2	,998837
17,3	1,001683	20,3	1,001100	23,3	1,000423	26,3	,999657	29,3	,998807
17,4	1,001664	20,4	1,001079	23,4	1,000399	26,4	,999630	29,4	,998778
17,5	1,001646	20,5	1,001058	23,5	1,000375	26,5	,999603	29,5	,998748
17,6	1,001628	20,6	1,001037	23,6	1,000351	26,6	,999575	29,6	,998718
17,7	1,001610	20,7	1,001015	23,7	1,000326	26,7	,999548	29,7	,998688
17,8	1,001592	20,8	1,000993	23,8	1,000301	26,8	,999521	29,8	,998658
17,9	1,001573	20,9	1,000971	23,9	1,000276	26,9	,999494	29,9	,998627

TABLEAU III

Rapport de la masse volumique de l'eau à 25 °C sur celle à T °C: $\frac{.997044}{m \text{ à } T^{\circ}\text{C}}$

T °C		T °C		T °C		T °C		T °C	
15,0	,997943	18,0	,998446	21,0	,999050	24,0	,999747	27,0	1,000533
15,1	,997958	18,1	,998465	21,1	,999072	24,1	,999772	27,1	1,000561
15,2	,997973	18,2	,998483	21,2	,999094	24,2	,999797	27,2	1,000589
15,3	,997988	18,3	,998502	21,3	,999116	24,3	,999822	27,3	1,000617
15,4	,998004	18,4	,998521	21,4	,999138	24,4	,999847	27,4	1,000645
15,5	,998019	18,5	,998540	21,5	,999160	24,5	,999872	27,5	1,000673
15,6	,998035	18,6	,998559	21,6	,999182	24,6	,999897	27,6	1,000701
15,7	,998051	18,7	,998578	21,7	,999205	24,7	,999923	27,7	1,000729
15,8	,998067	18,8	,998597	21,8	,999227	24,8	,999948	27,8	1,000757
15,9	,998083	18,9	,998617	21,9	,999250	24,9	,999974	27,9	1,000785
16,0	,998098	19,0	,998636	22,0	,999272	25,0	1,000000	28,0	1,000815
16,1	,998115	19,1	,998656	22,1	,999295	25,1	1,000026	28,1	1,000843
16,2	,998131	19,2	,998676	22,2	,999318	25,2	1,000052	28,2	1,000872
16,3	,998148	19,3	,998696	22,3	,999341	25,3	1,000077	28,3	1,000900
16,4	,998164	19,4	,998716	22,4	,999364	25,4	1,000103	28,4	1,000929
16,5	,998181	19,5	,998736	22,5	,999387	25,5	1,000130	28,5	1,000958
16,6	,998198	19,6	,998756	22,6	,999410	25,6	1,000156	28,6	1,000987
16,7	,998215	19,7	,998776	22,7	,999434	25,7	1,000182	28,7	1,001017
16,8	,998232	19,8	,998797	22,8	,999457	25,8	1,000208	28,8	1,001046
16,9	,998249	19,9	,998817	22,9	,999481	25,9	1,000235	28,9	1,001075
17,0	,998267	20,0	,998838	23,0	,999504	26,0	1,000261	29,0	1,001104
17,1	,998284	20,1	,998858	23,1	,999528	26,1	1,000288	29,1	1,001134
17,2	,998302	20,2	,998879	23,2	,999552	26,2	1,000316	29,2	1,001163
17,3	,998319	20,3	,998900	23,3	,999576	26,3	1,000342	29,3	1,001193
17,4	,998337	20,4	,998921	23,4	,999600	26,4	1,000369	29,4	1,001223
17,5	,998355	20,5	,998942	23,5	,999625	26,5	1,000396	29,5	1,001253
17,6	,998373	20,6	,998964	23,6	,999649	26,6	1,000424	29,6	1,001283
17,7	,998398	20,7	,998986	23,7	,999674	26,7	1,000451	29,7	1,001313
17,8	,998409	20,8	,999007	23,8	,999698	26,8	1,000478	29,8	1,001343
17,9	,998428	20,9	,999029	23,9	,999723	26,9	1,000505	29,9	1,001373

ANNEXE III

ETALLONNAGE D'UN RECIPIENT AVEC PLAQUE DE VERRE

- 1) Le récipient est rempli d'eau et on forme au niveau de son ouverture un menisque convexe par l'addition d'une petite quantité d'eau supplémentaire. Cette opération est plus facile si on étale, sur les bords de l'ouverture du flacon, un film de graisse à vide.
- 2) On applique ensuite sur l'ouverture du récipient une plaque de verre qu'on glisse bien horizontalement d'un mouvement rapide de façon à exclure la formation de bulles d'air entre l'eau et la surface inférieure de la plaque de verre.
- 3) Le récipient ainsi préparé est pesé avec la plaque de verre, et la température de l'eau qu'il contient est aussitôt relevée. La masse d'eau contenue dans le récipient est ramenée à 25°C au moyen de l'équation

suivante:
$$M_{25} = (M_t - M_r) \frac{M_{w25}}{M_{we}}$$

- où
- M_t = masse du récipient, de la plaque et de l'eau à la température "e" de l'essai
 - M_r = masse du récipient vide et de la plaque de verre
 - M_{w25} = masse volumique de l'eau à 25°C
 - M_{we} = masse volumique de l'eau à la température de l'essai
 - M_{25} = masse d'eau que peut contenir le récipient à 25°C

ANNEXE IV

La densité peut aussi être calculée suivant l'équation 11.1.1 a, en prenant soin de ramener à 25°C la masse de l'échantillon dans l'eau (valeur C). Il s'agit alors de ramener à 25°C la masse totale de l'échantillon et du ballon dans l'eau et d'y soustraire la masse du ballon dans l'eau à 25°C.

Pour ramener à 25°C la masse totale dans l'eau, il faut d'abord ajuster à 25°C la poussée reçue à t°C (température de l'essai) par le ballon et l'échantillon. La poussée à t°C est égale à la différence entre la masse totale dans l'air et la masse totale dans l'eau à t°C. En assumant que le volume d'eau déplacée demeure constant, la poussée à 25°C est égale à la poussée à t°C multipliée par le rapport de la masse volumique de l'eau à 25°C sur la masse volumique de l'eau à t°C. Enfin, la masse totale dans l'eau à 25°C est égale à la masse totale dans l'air moins la poussée à 25°C.

Pourcentage de vide

LCTQ 10

METHODE DE MESURE DU POURCENTAGE DE VIDES DANS LES MELANGES BITUMINEUX COMPACTES DE TYPE DENSE ET DE TYPE OUVERT

1. INTRODUCTION

1.1 La présente norme est basée sur la norme ASTM D 3203.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente norme s'applique à la mesure du pourcentage de vides dans les mélanges bitumineux compactés de type dense et de type ouvert.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 Norme ASTM

D 3203 Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures.

3.2 Normes LCTQ

LCTQ 03 Méthode de mesure de la densité brute des mélanges bitumineux compactés (sur éprouvettes saturées à surface sèche).

LCTQ 09 Méthode de mesure de la densité maximale des mélanges bitumineux pour revêtements routiers.

4. SIGNIFICATION ET EMPLOI

4.1 La présente méthode de mesure des vides est employée dans le calcul et le contrôle des mélanges bitumineux. Le pourcentage des vides fait partie des spécifications sur les revêtements bitumineux.

5. DEFINITIONS

5.1 Vides

Ce sont les poches d'air comprises entre les granulats enrobés de bitume d'un mélange bitumineux compacté.

5.2 Mélanges de type dense

Les mélanges bitumineux de type dense sont ceux qui, à l'état compacté, présentent un pourcentage de vides inférieur à 10%.

5.3 Mélanges de type ouvert

Les mélanges bitumineux de type ouvert sont ceux qui, à l'état compacté, présentent un pourcentage de vides égal ou supérieur à 10%.

5.3.1 Dans les cas limites, un mélange est dit de type ouvert si le pourcentage de vides, calculé selon les prescriptions de l'article 7.1 ou de l'article 7.2, est égal ou supérieur à 10%.

6. ECHANTILLONNAGE

6.1 Les échantillons sur lesquels sont effectuées les mesures de densité brute et densité maximale sont décrits dans les méthodes correspondantes, soient LCTQ 03 et LCTQ 09.

7. MODE OPERATOIRE

7.1 S'il s'agit de mélanges de type dense, employer la méthode LCTQ 03 pour mesurer la densité brute. Déterminer la densité maximale selon la méthode LCTQ 09, sur un échantillon distinct mais identique au premier, afin d'éviter l'influence susceptible d'être exercée par des différences de gradation, de teneur en bitume, etc.

7.2 Dans le cas des mélanges de type ouvert, conformément aux prescriptions de l'article 8 de la méthode LCTQ 03, prélever un échantillon de forme régulière du mélange compacté et en déterminer la mesure volumique en divisant la masse à l'état sec (exprimée en gramme) par le volume (exprimé en centimètres cubes).

Le volume doit être calculé à partir des dimensions de l'échantillon, chaque dimension étant égale à la moyenne de trois mesures effectuées de façon à être représentatives. Transformer la masse volumique en densité brute en la divisant par la masse volumique de l'eau à 25°C (0,99704 g/cm³). Déterminer la densité maximale (méthode LCTQ 09) sur un échantillon distinct, mais semblable au premier, afin d'éviter l'influence susceptible d'être exercée par des différences de gradation, de teneur en bitume, etc.

7.3 En cas d'arbitrage, on doit déterminer et la densité brute et la densité maximale sur des portions aliquotes du même échantillon bitumineux à l'état compacté.

8. CALCUL

8.1 Le pourcentage de vides est calculé selon l'équation suivante:

$$\text{Pourcentage de vides} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\text{densité brute}}{\text{densité maximale}} \right)$$

Calcul d'un mélange

LCTQ 11

METHODE DE CALCUL D'UN MELANGE

1. INTRODUCTION

1.1 La présente méthode est basée sur celle de l'Asphalt Institute et aussi sur la méthode Marshall concernant la stabilité d'un mélange bitumineux.

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1 La présente méthode s'applique aux mélanges bitumineux fabriqués soit en laboratoire, soit en usine.

3. DOCUMENTS CONNEXES

3.1 The Asphalt Institute

MS₂ Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot-mix Types.

3.2 Normes ASTM

C 127 Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates.

C 128 Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates.

D 70 Specific Gravity of Semi-Solid Bituminous Materials.

D 854 Specific Gravity of Soils.

3.3 Normes LCTQ

LCTQ 01 Echantillonnage du mélange bitumineux en laboratoire.

LCTQ 02 Préparation d'éprouvettes d'essai Marshall .

LCTQ 03 Méthode de mesure de la densité brute des mélanges bitumineux compactés (sur éprouvettes saturées à surface sèche).

LCTQ 04 Méthode de mesure, à l'aide de l'appareillage Marshall, de la résistance à la déformation des mélanges bitumineux.

LCTQ 05 Méthode d'extraction du bitume contenu dans les mélanges bitumineux.

LCTQ 06 Méthodes de mesure du filler minéral contenu dans l'extrait.

LCTQ 07 Méthode de mesure de la justesse de la teneur en bitume trouvée lors de l'essai d'extraction.

- LCTQ 08 Analyse granulométrique des granulats.
- LCTQ 09 Méthode de mesure de la densité maximale des mélanges bitumineux pour revêtements routiers.
- LCTQ 10 Méthode de mesure du pourcentage de vides dans les mélanges compactés de type dense et de type ouvert.

4. SIGNIFICATION ET EMPLOI

4.1 Cette méthode permet de trouver le pourcentage optimum de bitume que devrait contenir un mélange pour atteindre certaines normes de vide et de stabilité.

4.2 La détermination des vides interstitiels, des vides entre grains du granulat et de la teneur effective en liant permet de prévoir, dans une certaine mesure, ce que sera la performance du revêtement.

4.3 Cette méthode est employée pour connaître différentes caractéristiques des mélanges bitumineux telles que le % optimum de liant, les densités brute et maximale, le % de vide, le % de bitume effectif, la compactibilité, etc.

4.4 On peut déterminer l'efficacité du compactage soit pendant la phase de la construction, soit après des années de service, en comparant la densité d'un prélèvement effectué dans le revêtement avec celle que donne un échantillon du même mélange après compactage en laboratoire.

NOTE 1 - Etant donné que les vides interstitiels et les vides entre grains du granulat représentent des volumes que l'on ne peut peser, les mélanges doivent être formulés ou étudiés en fonction des volumes. Il est ensuite facile de passer des volumes aux masses lorsque l'on doit formuler la composition d'un mélange donné.

5. DEFINITIONS

5.1 Densité effective

C'est le rapport entre la masse dans l'air de l'unité de volume d'un matériau perméable (non compris les vides perméables au bitume) à une température donnée et la masse dans l'air d'un volume identique d'eau à une température donnée.

5.2 Vides entre grains du granulat (VAM)

C'est le volume des vides intergranulaires d'un mélange compacté, y compris les vides interstitiels et la teneur effective en bitume, exprimé en pourcentage du volume total de l'échantillon.

5.3 Vides interstitiels (V_{vi})

C'est le volume total des petites poches d'air présentes entre les grains de granulat enrobé du mélange. Ce volume est exprimé en pourcentage du volume brut du mélange à l'état compacté.

5.4 Teneur effective en bitume (P_{be})

C'est la teneur totale en bitume d'un mélange moins la portion de bitume perdue par absorption dans le granulat. Elle est exprimée en pourcentage soit de la masse totale de l'échantillon, soit de la masse de granulat présent dans l'échantillon.

6. APPAREILLAGE

6.1 Récipients métalliques (genre plats à pain) destinés à chauffer les granulats.

6.2 Malaxeur mécanique genre "Hobart C 100" avec deux bols de malaxage et deux agitateurs à fils métalliques.

NOTE 2 - On peut se servir de tout genre de mélangeur mécanique à condition qu'il produise dans les délais permis la quantité exigée d'un mélange homogène et bien enrobé et que tout le lot essentiel puisse être récupéré.

6.3 Thermomètre gradué à 3°C entre 10 et 230°C.

6.4 Récipients pour chauffer et verser le bitume.

6.5 Balance d'une capacité minimale de 5000 g et une précision de 0,1 g.

6.6 L'appareillage indiqué à la méthode LCTQ 02, article 6, de 6.1 à 6.8 inclus.

7. ECHANTILLONNAGE

7.1 La préparation des spécimens d'essai doit être conforme aux prescriptions des méthodes LCTQ 01 et LCTQ 02 ainsi qu'aux méthodes propres à chaque mesure de densité.

NOTE 3 - Dans les mélanges moulés en laboratoire, l'effort de compaction doit être suffisant pour donner une masse volumique égale à celle que le mélange finirait par atteindre sous trafic, après compactage au cylindre pendant la phase de construction de la chaussée.

8. MODE OPERATOIRE

8.1 Nombre d'éprouvettes

Préparer une série d'au moins trois (3) éprouvettes pour chaque teneur en bitume choisie de façon que les courbes, qui représentent les résultats des essais, indiquent une valeur optimum bien définie. On choisit habituellement cinq (5) pourcentages différents d'au moins 0,5, et pour déterminer le pourcentage moyen, on peut utiliser la formule LERO, i.e. le total granulométrique (réf. LCTQ 08, art. 10.2, page 50), plus 120 divisé par 100.

8.2 Préparation des granulats

Sécher les granulats à $110^{\circ}\text{C} \pm 5$ jusqu'à masse constante et les séparer par tamisage à sec en fractions désirées. Les fractions suivantes sont recommandées:

25 à 19 mm
19 à 9,5 mm
9,5 à 4,75 mm
4,75 à 2,36 mm
2,36 et moins

Il faut, pour chaque éprouvette, 1100 à 1200 g de granulat.

NOTE 4 - Lorsqu'on doit effectuer l'essai LCTQ 07, on prépare 3 éprouvettes (de granulats) supplémentaires dans lesquels on introduira la teneur en bitume choisie.

8.3 Préparation du bitume

Le bitume doit être chauffé à une température lui permettant d'atteindre une viscosité de $170 \pm 20 \text{ mm}^2/\text{s}$ lors du malaxage. Une fois la température requise atteinte, il ne faut pas maintenir le bitume à cette température plus d'une heure.

8.4 Préparation des mélanges

Dans des plateaux différents pour chaque éprouvette, peser la quantité de chaque fraction nécessaire pour produire une fournée qui donnera une éprouvette moulée d'une hauteur de $63,5 \pm 1,2 \text{ mm}$ (environ 1200 g).

8.4 Préparation des mélanges (suite)

Poser les plateaux sur la plaque chauffante ou dans le four et chauffer à une température ne dépassant pas la température de malaxage mentionnée à 8.3 pour le bitume, de plus de 25°C. Mettre les granulats chauffés et secs dans le bol de malaxage et mélanger parfaitement. Former ensuite un cratère dans les granulats secs et mélangés, peser la quantité nécessaire de liant bitumineux préchauffé puis la déposer dans le mélange. Certaines précautions doivent être prises en vue d'éviter une perte du mélange durant le malaxage et les manipulations subséquentes. A ce stade, la température du granulat et du liant bitumineux doit se trouver dans les limites de température de malaxage mentionnées à 8.3. Mélanger ensuite le granulat et le liant rapidement jusqu'à enrobage parfait. Placer immédiatement le mélange dans les moules pour le compacter tel qu'indiqué à LCTQ 02. La température du mélange préparé ne doit pas être inférieure à 140°C pour le compactage.

Pour les autres étapes de la fabrication des éprouvettes, on doit procéder selon la méthode LCTQ 02, article 9.

NOTE 5 - Pour atteindre la température qui donne au bitume, lors du malaxage, une viscosité de $170 \pm 20 \text{ mm}^2/\text{s}$, on chauffe habituellement le bitume à $130^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ et les granulats à $180^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$. Dans le cas des bitumes dont la pénétration est supérieure à 200, on doit consulter la charte de viscosité-température.

8.5 Densité brute

Sur chaque éprouvette, procéder à la mesure de la densité brute conformément à la méthode LCTQ 03.

8.6 Stabilité et déformation

Sur chaque éprouvette, procéder aux mesures de la stabilité et de la déformation conformément à la méthode LCTQ 04.

8.7 Densité maximale

Sur chaque éprouvette, procéder à la mesure de la densité maximale conformément à la méthode LCTQ 09.

NOTE 6 - On peut aussi effectuer des essais d'extraction de bitume sur chaque groupe pour fin de vérification.

9. CALCUL

9.1 Calculer la moyenne des densités brutes des éprouvettes (en fonction de chaque teneur en bitume) en utilisant les valeurs qui ne s'écartent pas plus de 0,035 l'une de l'autre.

9.2 Calculer la moyenne des densités maximales des éprouvettes (pour chaque teneur en bitume) en utilisant les valeurs qui ne s'écartent pas plus de 0,011 l'une de l'autre.

NOTE 7 - Lorsque l'on formule un mélange devant contenir un granulat donné, il faut connaître les densités maximales à différentes teneurs en bitume pour être en mesure de calculer le pourcentage de vides interstitiels à chaque teneur.

9.3 Calculer la moyenne des résultats de stabilité et déformation en écartant les valeurs manifestement erronées.

9.4 Calculer la densité effective du granulat selon l'équation suivante:

$$D_{ge} = \frac{P_m - P_b}{\frac{P_m}{D_{mm}} - \frac{P_b}{D_b}}$$

D_{ge} = densité effective du granulat

P_m = mélange total non compacté (pourcentage en masse du mélange total, c'est-à-dire 100)

P_b = bitume (pourcentage en masse du mélange total)

D_{mm} = densité maximale du mélange (sans vides interstitiels, réf. article 5.3)

D_b = densité du bitume (habituellement 1.02)

NOTE 8 - Lorsque la densité effective du granulat est calculée en fonction de la densité maximale d'un mélange, elle tient compte de tous les vides des grains, à l'exception de ceux qui ont absorbé du bitume.

NOTE 9 - Le volume de bitume absorbé par le granulat est pratiquement toujours inférieur au volume d'eau absorbé. C'est pourquoi la valeur de la densité effective du granulat doit se situer entre sa densité brute et sa densité apparente. Si tel n'est pas le cas, on en conclut que la densité effective est inexacte. Il faut alors rechercher la source de l'erreur en procédant à la vérification des calculs.

NOTE 10 - Lorsque la densité effective du granulat est connue, on peut obtenir la densité maximale du mélange, pour différentes teneurs en bitume, à l'aide de l'équation suivante:

$$D_{mm} = \frac{P_m}{\frac{P_g}{D_{ge}} + \frac{P_b}{D_b}}$$

- D_{mm} = densité maximale du mélange
 P_m = 100% (mélange non compacté, en pourcentage en masse)
 P_g = granulat en pourcentage en masse du mélange
 D_{ge} = densité effective du granulat
 P_b = bitume en pourcentage en masse du mélange
 D_b = densité du bitume (habituellement 1.02)

NOTE 11 - La densité effective du granulat est pratiquement constante puisque l'absorption de bitume ne varie pas de façon sensible avec la variation de la teneur en bitume.

9.5 Calculer le % de bitume absorbé. La proportion de bitume absorbé est exprimée en pourcentage en masse du granulat et est donnée par l'équation suivante:

$$P_{ba} = 100 \left(\frac{D_{ge} - D_{gb}}{D_{gb} \times D_{ge}} \right) D_b$$

- P_{ba} = bitume absorbé (% en masse du granulat)
 D_{ge} = densité effective du granulat
 D_{gb} = densité brute du granulat
 D_b = densité du bitume

NOTE 12 - On peut aussi exprimer le bitume absorbé en pourcentage en masse du mélange pour fin de calcul du bitume effectif (réf. art. 9.6).

NOTE 13 - Pour un calcul rapide (dans un contrôle de routine), on peut dire que la proportion de bitume absorbé est égale à la moitié de l'absorption en eau par le granulat.

9.6 Calculer le % de bitume effectif. La teneur effective de bitume représente la portion de bitume formant la couche qui enrobe les grains de granulat; elle est habituellement exprimée en pourcentage de la masse totale du mélange et est calculée par l'équation suivante:

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba} P_g}{100} \right) \text{ ou } P_{be} = \left(\frac{100}{D_{mm}} - \frac{P_g}{D_{gb}} \right) \times D_b$$

- P_{be} = teneur effective en bitume
 P_b = bitume total exprimé en pourcentage en masse du mélange
 P_{ba} = bitume absorbé exprimé en pourcentage en masse du granulat
 P_g = granulat exprimé en pourcentage en masse du mélange
 D_{gb} = densité brute des granulats
 D_{mm} = densité maximale du mélange
 D_b = densité du bitume

9.7 Calcul du VAM

9.7.1 La valeur du VAM (réf. art. 5.2) peut être calculée d'après la densité brute du granulat à l'aide de l'équation suivante:

$$VAM = 100 - \left(\frac{D_{mb} P_g}{D_{gb}} \right) \text{ ou } \left(\frac{100}{D_{mm}} - \frac{P_g}{D_{gb}} \right) \times \frac{100}{D_{mm}}$$

- VAM = volume des vides entre les grains du granulat
 D_{gb} = densité brute du granulat
 D_{mb} = densité brute du mélange compacté (LCTQ 03)
 P_g = masse du granulat exprimé en pourcentage en masse du mélange
 D_{mm} = densité maximale du mélange

9.7.2 La valeur du VAM peut aussi être calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$VAM = V_{be} + V_{vi}$$

- VAM = volume des vides entre les grains du granulat enrobé
 V_{be} = volume du bitume effectif
 V_{vi} = volume des vides interstitiels exprimé en pourcentage du volume total

NOTE 14 - Le volume du bitume effectif V_{be} peut être obtenu par l'équation suivante:

$$Vol_{be} = \frac{D_{mb} \times P_{be}}{D_b}$$

- Vol_{be} = volume du bitume effectif
 D_{mb} = densité brute du mélange compacté
 P_{be} = teneur effective de bitume exprimée en % en masse du mélange
 D_b = densité du bitume

9.8 Calcul des vides interstitiels (V_{vi}) réf. art. 5.3

Le volume des vides interstitiels est calculé conformément à la méthode LCTQ 10 ou l'équation suivante:

$$V_{vi} = 100 \left(\frac{D_{mm} - D_{mb}}{D_{mm}} \right)$$

V_{vi} = volume des vides interstitiels en % du volume total

D_{mm} = densité maximale du mélange LCTQ 09

D_{mb} = densité brute du mélange compacté LCTQ 03

9.9 Calculer l'indice de compactibilité

La compactibilité d'un mélange est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$C = \frac{18000 \times \text{déformation}}{V_{vi} \times \text{stabilité}}$$

C = indice de compactibilité

18000 = constante (du critère de Fromm) modifiée pour l'utilisation du SI

déformation = valeur de déformation obtenue lors de l'essai LCTQ 04 et exprimée en millimètre

stabilité = valeur de stabilité obtenue lors de l'essai LCTQ 04 et exprimée en newton

NOTE 15 - Dans le but d'améliorer le degré de compactage, on doit viser une teneur en vide interstitiel comprise entre 2,5 et 3,0% ainsi qu'une compactibilité minimale de 1,5 pour les mélanges MB #1, #2, #3 et de 2,0 pour les mélanges MB #4, #5, #6, #7.

9.10 Calcul de l'épaisseur du film de bitume effectif

L'épaisseur du film de bitume effectif est exprimée en micromètre (μm) et est calculée au moyen de l'équation suivante:

$$\text{F.B.E.} = \frac{K \times \% \text{ bitume effectif}}{\text{SST} \times (1 - \% \text{ bitume total corrigé}) (\text{LCTQ 07})}$$

F.B.E. = épaisseur moyenne du film de bitume effectif en micromètre

K = constante valant 981 (la provenance de cette valeur est expliquée à l'appendice II)

% bit. effectif = valeur déterminée selon l'article 9.6 ou conformément à la note 12 ($\% \text{ bit. effectif} = \frac{\% \text{ bit. total} - \text{absorption en eau}}{2}$)

SST = surface spécifique totale des granulats en mètre carré par kilogramme

NOTE 16 - Pour calculer l'épaisseur du film de bitume effectif, il faut connaître la surface moyenne des granulats formant le mélange; le volume du bitume divisé par cette surface donnera l'épaisseur. La surface moyenne des granulats pour une formule de mélange donné se détermine en multipliant le % passant de chacun des tamis par le facteur de surface spécifique ci-dessous (facteur SS):

Tamis en mm	19	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
Facteur SS en m ² /kg	*	*	0,41	0,82	1,64	2,87	6,14	12,29	32,77

* Pour la partie retenue sur le tamis 4,75 mm, la surface spécifique est estimée à une valeur de 0,41 m²/kg.

Un exemple de calcul de surface spécifique totale est présenté à l'appendice I.

NOTE 17 - La masse volumique du bitume utilisée dans ces calculs est 1020 kg/m³.

9.11 Masse volumique

La masse volumique du mélange est exprimée en kg/m³ et est calculée au moyen de l'équation suivante:

$$\text{Masse volumique} = D_{mb} \times M_{w25}$$

D_{mb} = densité brute du mélange compacté

M_{w25} = masse volumique de l'eau à 25°C (997,04 kg/m³)

NOTE 18 - La masse volumique de l'eau est donnée, pour différentes températures, dans le tableau I de la méthode LCTQ 03, en g/cm³; il suffit de multiplier par 1000 pour l'avoir en kg/m³.

10. RAPPORT

10.1 Les données des essais et des calculs effectués doivent être inscrites sur une formule de travail dont un exemple est fourni à l'appendice III.

11. INTERPRETATION DES RESULTATS

11.1 L'interprétation des résultats se fait à l'aide des diagrammes suivants:

% bitume total	versus	% vide dans le mélange
"	"	"
"	"	V.A.M.
"	"	masse volumique
"	"	stabilité "Marshall"
"	"	déformation ou fluage
"	"	film de bitume effectif

NOTE 19 - Un exemple de présentation de ces diagrammes est fourni à l'appendice IV.

11.2 La stabilité Marshall augmente avec la teneur en bitume pour ensuite décroître.

11.3 L'indice de déformation augmente avec la teneur en bitume.

11.4 La masse volumique augmente avec la teneur en bitume pour ensuite décroître. Habituellement, la masse volumique maximale est atteinte pour une teneur en bitume légèrement supérieure à celle donnant la stabilité maximale.

11.5 Le % de vide diminue à mesure que la teneur en bitume augmente pour atteindre ensuite une valeur minimale.

11.6 Le VAM décroît avec l'augmentation de la teneur en bitume pour ensuite s'accroître.

11.7 Le film de bitume effectif augmente avec la teneur en bitume totale.

11.8 La teneur optimum en bitume est la moyenne arithmétique des teneurs en bitume qui donneront a) la stabilité maximale, b) la masse volumique maximale et c) le % de vide visé à la note 15.

Il faut cependant que la teneur optimum choisie corresponde à une compactibilité telle que mentionnée à la note 15, un film de bitume satisfaisant les exigences du cahier des charges et devis, un VAM égal ou supérieur à celui prévu au cahier des charges et devis ainsi qu'un indice de déformation se rapprochant le plus de la moyenne des limites prévues.

NOTE 20 - Dans le but d'éviter de combler une partie trop importante des vides dans le mélange avec des particules fines, la granulométrie de la formule de mélange choisie doit être telle que le rapport des particules passant le tamis 0,075 mm sur celles passant le tamis 2,36 mm ne doit pas excéder 10%.

APPENDICE I

Tamis en mm	% Passant	x	Facteur SS	=	Surface spécifique
19	100		_____		0,41
9,5	90		_____		
4,75	75		,41		0,31
2,36	60		,82		0,49
1,18	45		1,64		0,74
0,600	35		2,87		1,00
0,300	25		6,14		1,54
0,150	18		12,29		2,21
0,075	10		32,77		3,28

Surface spécifique totale (SST) = 9,98 m²/kg

APPENDICE II

Provenance de la constante "K"

Le F.B.E. est une épaisseur exprimée en micromètre, donc:

$$\text{F.B.E.} = \frac{\text{volume bitume effectif en m}^3/\text{kg}}{\text{surface totale des granulats en m}^2/\text{kg}} \times 10^6 \mu/\text{m}$$

$$\text{F.B.E.} = \frac{\% \text{ bit. effectif en masse/masse volumique bitume en kg/m}^3}{\text{surf. totale granulat en m}^2/\text{kg} \times \text{granulat en masse mélange}} \times 10^6 \mu/\text{m}$$

$$\text{F.B.E.} = \frac{\% \text{ bitume effectif} \times 10^6 \mu/\text{m} \times 1020 \text{ kg/m}^3}{\text{surface spéc. totale} \times (100 - \% \text{ bit. total})}$$

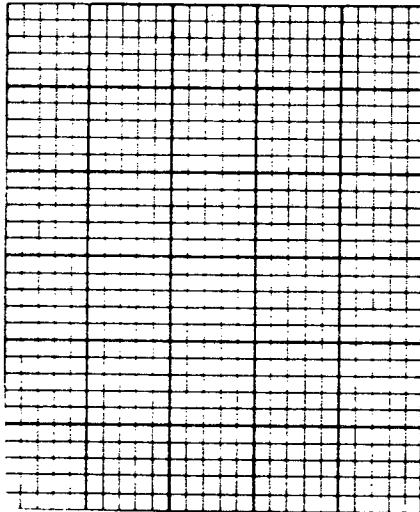
$$\text{F.B.E.} = \frac{\% \text{ bitume effectif} \times 980,392^*}{\text{ST} \times (100 - \% \text{ bitume total})}$$

* Pour simplifier les calculs et pour compenser pour l'usage de bitumes plus mous dont la masse volumique est légèrement inférieure, on utilise 981 au lieu de 980,392.

APPENDICE IV

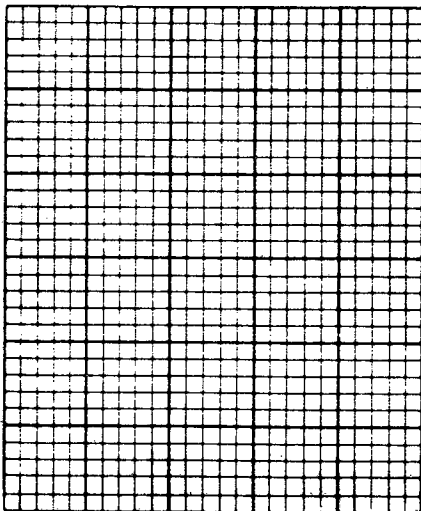
DIAGRAMMES POUR L'INTERPRETATION DES RESULTATS

% VIDES DANS MELANGE



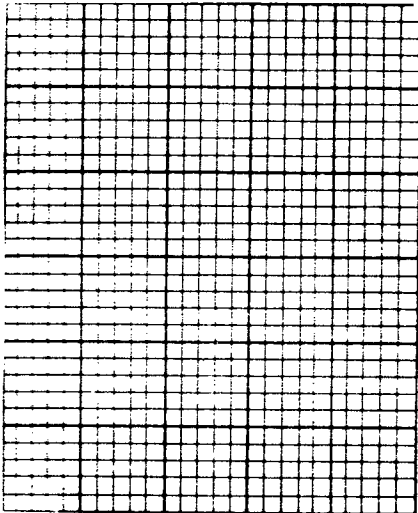
BITUME % MASSE DU MELANGE

% V.A.M.



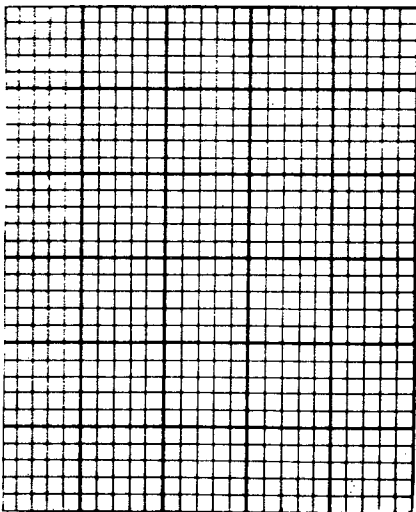
BITUME % MASSE DU MELANGE

STABILITE MARSHALL



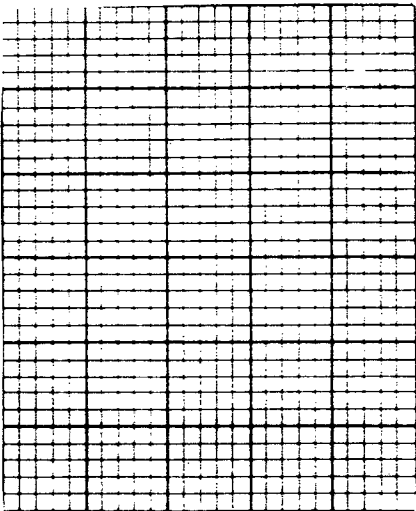
BITUME % MASSE DU MELANGE

MASSE VOLUMIQUE



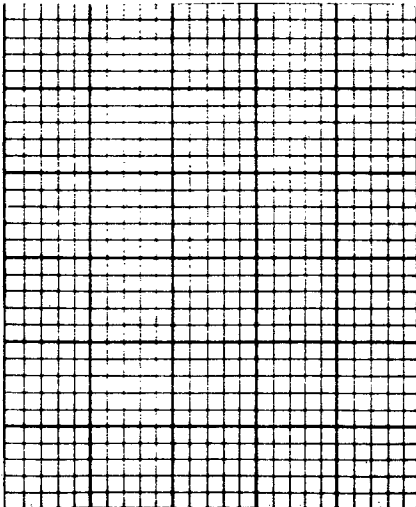
BITUME % MASSE DU MELANGE

DEFORMATION

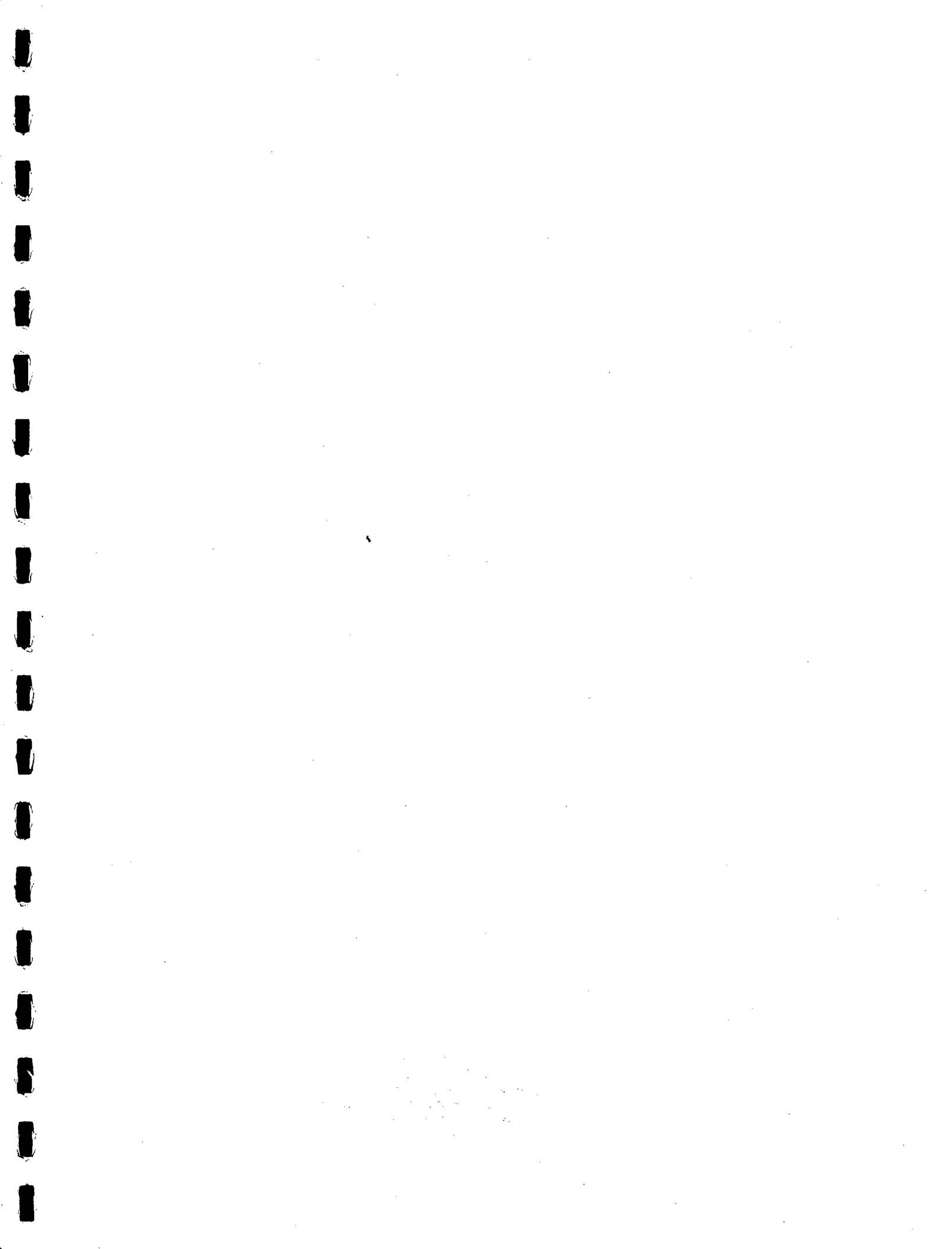


BITUME % MASSE DU MELANGE

EPAISSEUR FILM DE BITUME



BITUME % MASSE DU MELANGE



Achévé d'imprimer à
Québec en mars 1981, sur
les presses du Service des impressions en régie
du Ministère des Communications
du Québec

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 102 149