

Hadj BEKKI

LES ESSAIS DE LABORATOIRE DE ROUTES

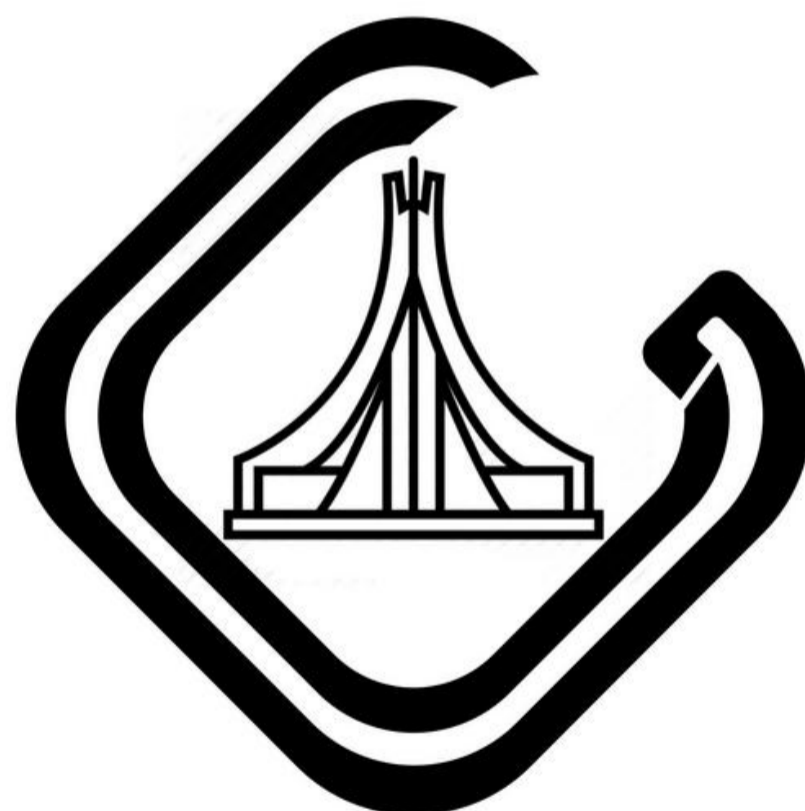
– MANUEL DE T.P –



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

D^r. Hadj BEKKI

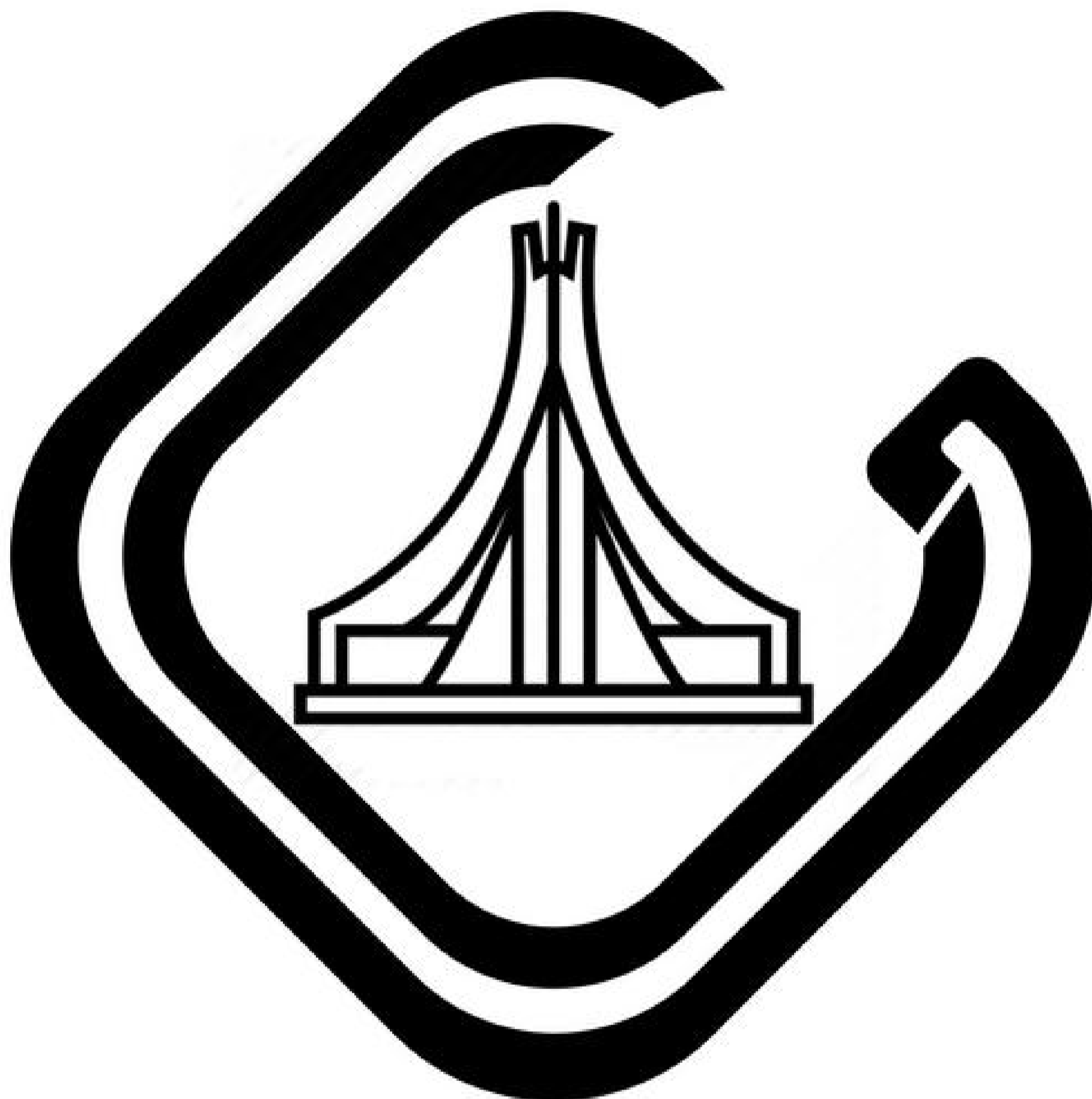
**LES ESSAIS DE LABORATOIRE DE ROUTES
– MANUEL DE T.P**



www.GCAlgerie.com



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES



www.GCAlgerie.com

©Office des Publications Universitaires:

EDITION: 2.03.5751

I.S.B.N: 978. 9961.0.2008.1

Dépôt légal: 1^{ème} semestre 2017

Avant-propos

Ce Manuel a pour objectif de fournir un document pratique pour la réalisation des essais de laboratoire routier. Il s'adresse aux étudiants de génie civil, en particulier, ceux qui préparent une licence ou un master en travaux publics ou en infrastructures routières.

Il représente, également, un document très utile pour les techniciens de laboratoire des travaux publics.

Cet ouvrage présente en détail la procédure d'essai pour chaque TP et aidera l'opérateur à interpréter et à exploiter les résultats des essais.

Les essais présentés dans cet ouvrage sont très courants et exigés par la réglementation en vigueur en matière d'infrastructure routière.

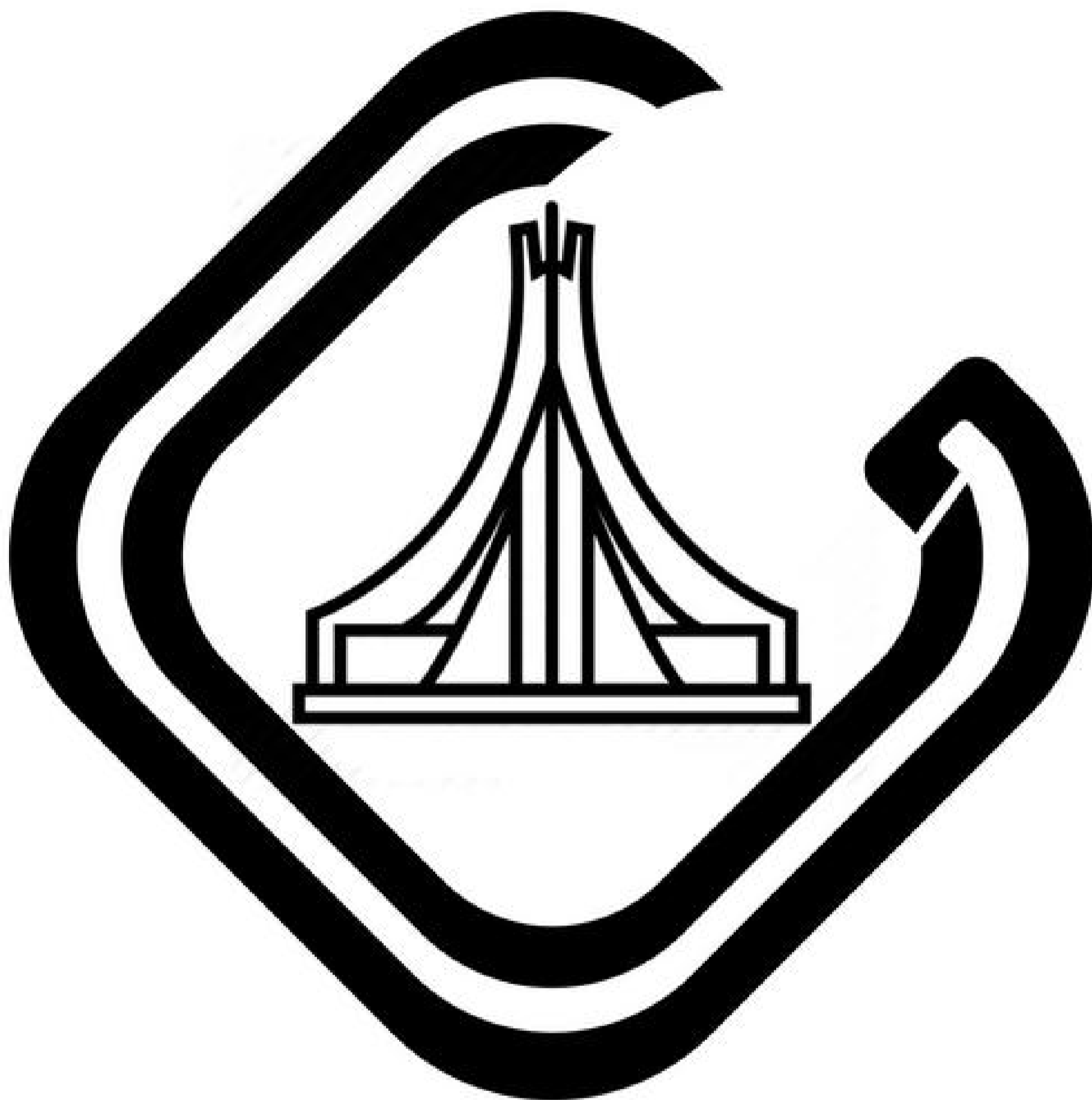
Ce manuel est divisé en trois parties :

- La première partie traite les essais relatifs aux granulats utilisés dans la construction routière ;
- La deuxième partie comporte les essais relatifs aux liants hydrocarbonés et dérivés utilisés dans les revêtements routiers ainsi que dans la fabrication et l'exécution des enrobés bitumineux ;
- La troisième partie est consacrée aux essais de laboratoire sur les mélanges granulats-liant hydrocarboné, tels que les enrobés bitumineux.

Les essais présentés sont conformes aux Normes Françaises (NF) et Européennes (NE) dont les références sont indiquées dans la bibliographie.

Pour chaque essai, les valeurs de référence des résultats sont indiquées afin de faciliter l'interprétation, d'une part et de maîtriser l'ordre des valeurs des résultats, d'autre part.

H. BEKKI



www.GCAlgerie.com

Introduction générale

La réalisation des ouvrages durables dans le domaine du génie civil, exige l'utilisation des matériaux de construction de bonne qualité répondant à des spécifications techniques bien définies.

Pour réaliser une route répondant aux critères de résistance, de qualité et de sécurité, il faut faire une sélection des matériaux à utiliser, d'une part, et veiller à la bonne mise en œuvre de ces matériaux, d'autre part. Ainsi, il est impératif de faire une analyse, au laboratoire, des matériaux qu'on souhaite utiliser afin de pouvoir vérifier leurs performances en fonction des exigences de l'ouvrage à construire.

Le dimensionnement des chaussées dépend de deux facteurs principaux ; le trafic routier et la portance du sol support mais aussi des performances des matériaux utilisés.

Dans la construction routière, on utilise principalement les granulats, les bitumes et éventuellement les liants de traitement tels que le ciment, la chaux, etc.

Les granulats peuvent être utilisés séparément, par rapport au liant bitumineux, dans la réalisation des enduits superficiels, par exemple, ou en mélange tels que les enrobés bitumineux (béton bitumineux ou grave bitume). C'est la raison pour laquelle, il est très important de réaliser des essais de laboratoire sur les matériaux et sur les mélanges afin de pouvoir vérifier les trois critères cités ci-dessus.

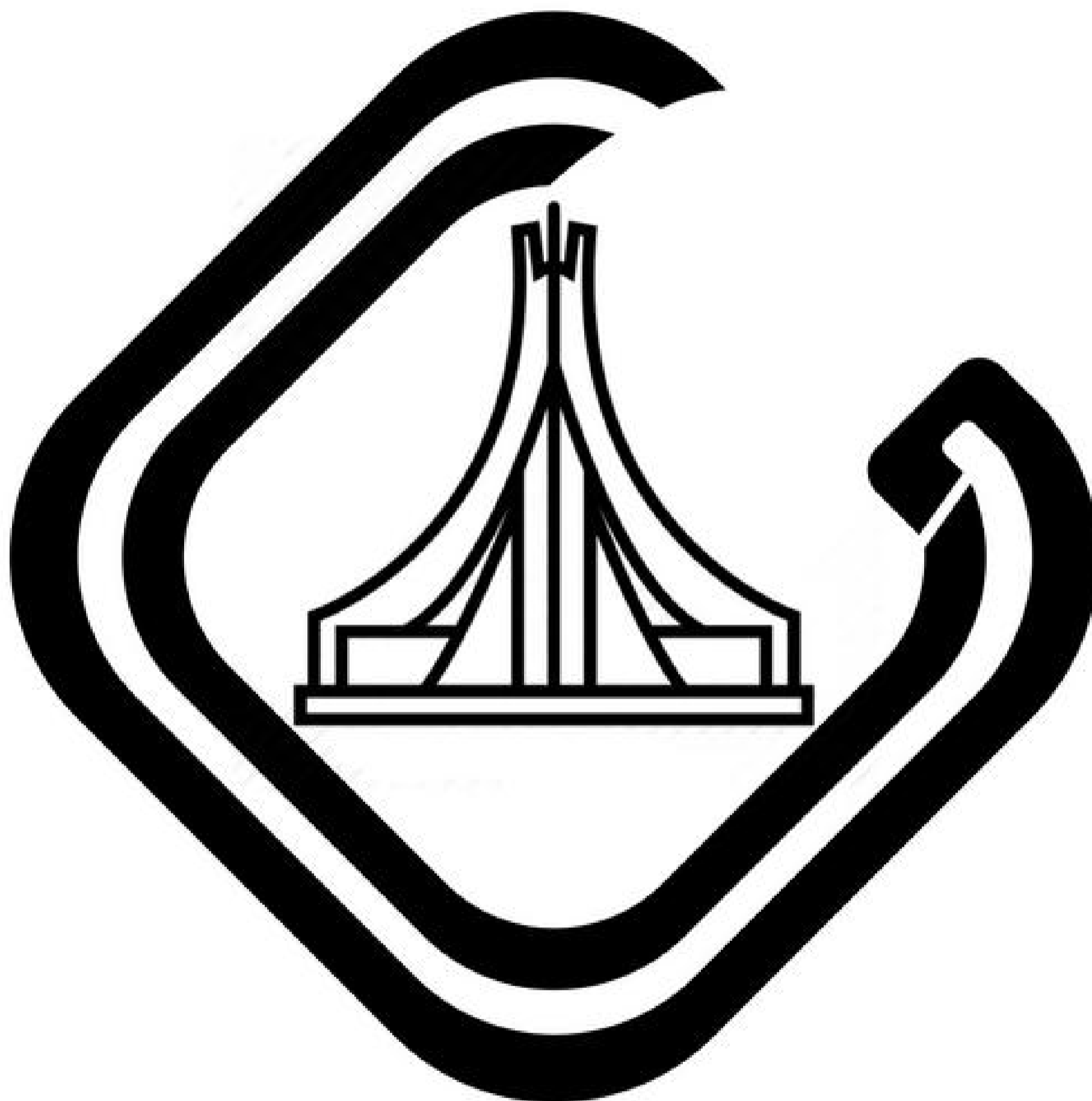
Parmi les problèmes liés à la résistance des couches de chaussée, on a le phénomène d'orniérage qui se manifeste suite à la grande fréquence du passage du poids lourd et induit de grandes déformations de la chaussée. Pour étudier le comportement des couches de chaussée sous l'effet d'un tel phénomène, on réalise des essais spécifiques tels que l'essai Marshall, utilisé très fréquemment, et l'essai d'orniérage qui représente un essai très significatif pour prévoir le comportement réel des matériaux sous l'effet du trafic.

Le passage répété de poids lourd sur la chaussée entraîne également un endommagement par fatigue de la structure de la chaussée et provoque la formation de fissures induisant une dégradation très avancée de la route. Pour appréhender ce problème, à l'avance, on réalise un essai spécifique appelé essai de fatigue qui nous permet de déterminer au laboratoire le comportement des enrobés bitumineux sous sollicitation par fatigue et enfin les épaisseurs à donner aux différentes couches constituant la chaussée.

Sur le plan sécurité des routes, on a l'aspect de rugosité géométrique des revêtements routiers qui est un facteur très important à rechercher pour avoir des chaussées non glissantes. Cet aspect dépend directement des caractéristiques des granulats et de leur mise en œuvre. La granularité, l'angularité, l'état de surface et la résistance mécanique des granulats jouent un rôle très important dans l'évolution de l'état de la chaussée sous l'effet du trafic routier. Cette évolution de la surface de chaussée est étudiée au laboratoire par le biais de l'essai de polissage accéléré des granulats et permet de déterminer le coefficient du frottement qui représente un paramètre très important pour assurer l'adhérence des véhicules sur la route, et par conséquent, la sécurité des usagers de la route.

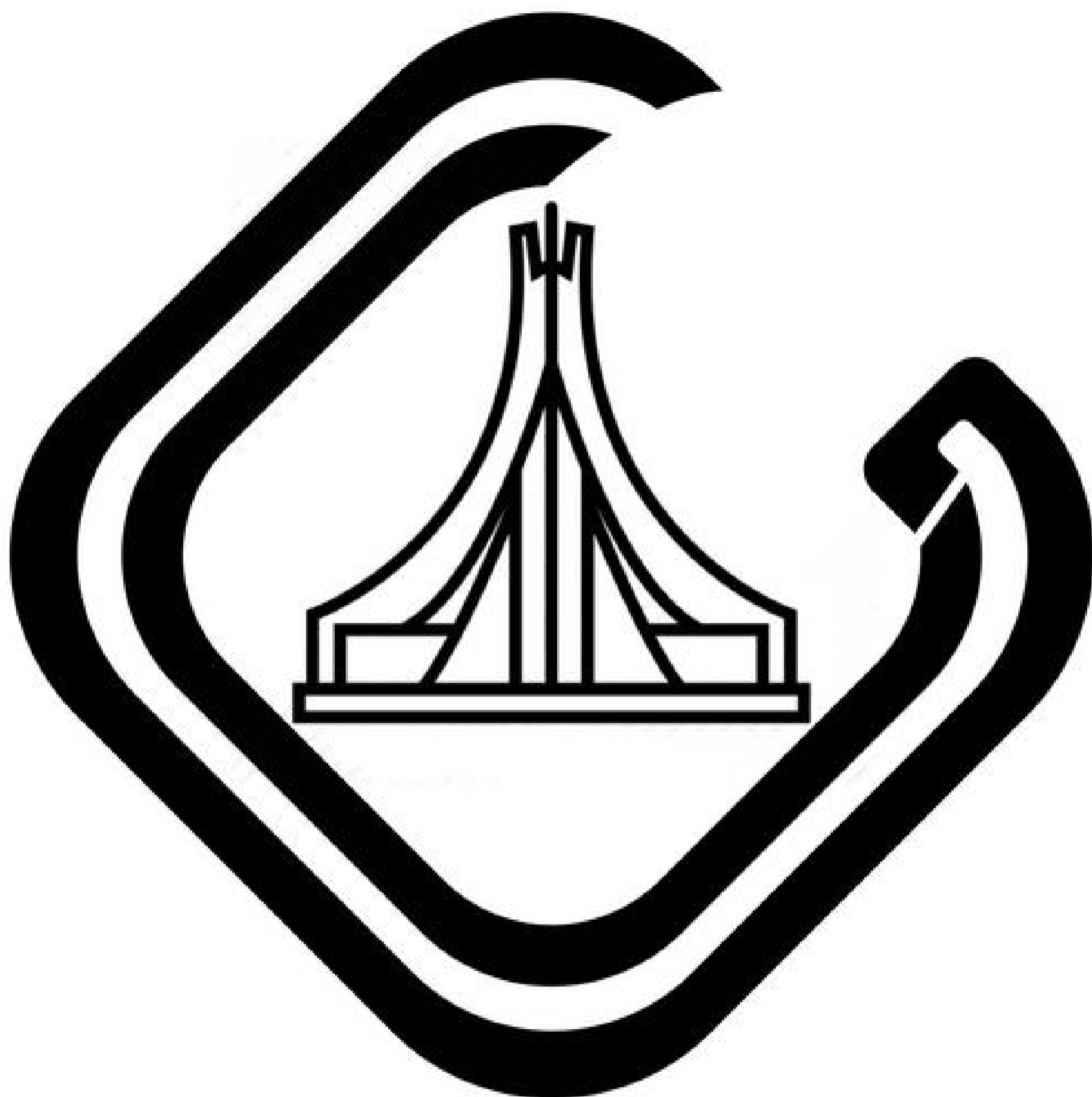
En conséquence, il s'avère que les essais sur les granulats et sur les enrobés bitumineux revêtent un intérêt capital pour réussir un ouvrage routier, d'où la nécessité de préparer ce manuel des TP de routes en faveur des étudiants de Génie Civil et les techniciens routiers d'une façon générale.

Dans ce qui suit, on présentera uniquement les essais routiers les plus courants et les plus utilisés en Algérie.



www.GCAlgerie.com

première partie
ESSAIS SUR GRANULATS



www.GCAlgerie.com

I.1. Généralités

Les granulats utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics sont des matériaux roulés ou concassés d'origine naturelle (granulats alluvionnaires ou de carrière) ou artificielle (industriels).

Généralement, les granulats sont constitués par des éléments de tailles variées réparties entre deux limites; inférieure (d) et supérieure (D). L'intervalle d/D est appelé classe granulaire. Les dimensions des grains varient entre 0 et 125 mm et forment les sept (07) familles conventionnelles suivantes:

- Fillers 0/D : $D < 2$ mm avec au moins 70% de passant à 0,063 mm;
- Sablons 0/D : $D \leq 1$ mm avec au moins 70% de passant à 0,063 mm;
- Sables 0/D : $1 \text{ mm} < D \leq 6,3$ mm ;
- Graves 0/D : $D > 6,3$ mm ;
- Gravillons d/D : $d \geq 1$ mm et $D \leq 125$ mm;
- Ballast d/D : $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm;
- Enrochements d/D : $d \geq 45$ (D peut dépasser 125 mm).

Les granulats doivent respecter certaines spécifications techniques qui se résument en trois catégories :

- Les caractéristiques géométriques telles que la granulométrie (Analyse granulométrique) et la forme des gravillons (coefficient d'aplatissement) ;
- Les caractéristiques physico-chimiques telles que la masse volumique apparente, la propreté, la porosité et la teneur en soufre et en sulfates ;
- Les caractéristiques mécaniques telles que la résistance à la fragmentation, la résistance à l'usure et la résistance au polissage des gravillons.

Dans ce qui suit, on présentera seulement les essais les plus importants pour les granulats routiers qui permettent de déterminer leurs caractéristiques mécaniques.

I.2. Résistance à la fragmentation

La résistance à la fragmentation des granulats peut être déterminée soit par l'essai Los Angeles (L_A) soit par l'essai de fragmentation dynamique (F_D).

I.2.1. Essai Los Angeles

a- But de l'essai:

Détermination de la résistance à la fragmentation par chocs des granulats entrant dans la constitution d'un béton ou d'une couche de chaussée.

b- Principe de l'essai:

L'essai consiste à mesurer la quantité des éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans un cylindre en rotation appelé machine Los Angeles.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par chocs s'exprime par le rapport : $100 \frac{m}{M}$

c- Appareillage et matériel utilisé:

- Machine Los Angeles (Figure I.1);
- Charge de boulets ;
- Balance électronique ;
- Tamis, bacs et brosses.

d- Mode opératoire :

Prise d'échantillon :

La masse envoyée au laboratoire est au moins égale à 15 Kg. L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme expérimentale NF P 18-553.

Préparation de l'échantillon pour essai:

- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.
- Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105°C, la masse de l'échantillon pour essai sera $M = 5000 \pm 5$ g.

Exécution de l'essai:

- Ouvrir la trappe de l'appareil Los Angeles, puis introduire la charge de boulets correspondant à la classe granulaire choisie, ensuite l'échantillon pour essai. La charge est fixée conformément aux indications du tableau I.1.



Figure I.1. Appareil Los Angeles

Tableau I.1. Nombre et Charge des boulets pour les différentes classes granulaires

Classes granulaires (m m)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)	
4 - 6,3	7	3 080	+20
6,3 - 10	9	3 960	à
10 - 14	11	4 840	- 150
10 - 25	11	4 840	+20
16 - 31,5	12	5 280	à
25 - 50	12	5 280	- 150

N.B :

En Algérie, les classes granulaires disponibles sur le marché sont un peu différentes par rapport à celles figurant dans les normes relatives aux granulats.

- Remettre le couvercle et fermer bien l'appareil en utilisant les manettes de serrage.
- Faire effectuer à la machine 500 rotations en utilisant le boîtier de commande, sauf pour la classe 25-50 mm où l'on effectue 1000 rotations, à une vitesse régulière comprise entre 30 tr/min et 33 tr/min.
- Récupérer le granulat dans un bac placé sous l'appareil après avoir fait tourner le tambour en utilisant la manivelle.
- Tamiser le matériau obtenu sur le tamis de 1,6 mm.
- Laver le refus au tamis de 1,6 mm, égoutter et sécher à l'étuve à 105°C, jusqu'à masse constante.
- Peser le refus une fois séché, soit m' le résultat de la pesée.

e- Résultats et Calculs:

Le coefficient Los Angeles (L_A) est par définition, le rapport :
$$L_A = \frac{m}{5000} 100$$

Où, $m = 5000 - m'$: la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm.

Le résultat sera arrondi à l'unité la plus proche.

f- Exploitation des résultats:

Les granulats les plus résistants au choc ont un coefficient Los Angeles L_A compris entre 10 et 15, tandis que les moins résistants ont un coefficient variant de 40 à 45.

Dans le domaine de la construction routière, le choix des granulats s'effectue en fonction de l'intensité du trafic (classe de trafic), de la position des granulats dans la chaussée (couche de fondation, couche de base ou couche de roulement) et du type de matériau constituant la couche de chaussée (grave naturelle, grave traitée, Béton bitumineux...). Le tableau I.2 donne les spécifications techniques, en matière de résistance au choc, relatives aux granulats pour chaussées.

Pour les granulats utilisés dans la fabrication des bétons hydrauliques, les valeurs requises pour le coefficient los Angeles ne doivent pas dépasser la valeur de 40 : $L_A \leq 40$.

Un modèle de la feuille d'essai 'Los Angeles' est présenté sur la figure I.2.

Tableau I.2. Recommandations sur le coefficient L_A pour les chaussées neuves et l'entretien des chaussées anciennes (Spécifications LCPC-SETRA, 1984)

Trafic PL/J	Couche de Fondation			Couche de Base			Couche de Roulement		
	G.N.T	G.H	G.B	G.N.T	G.H	G.B	B.B	E.S	B.H.
≤ 25	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 30	≤ 40	≤ 40	≤ 25	≤ 35	≤ 40
25 - 150	≤ 30	≤ 40	≤ 40	≤ 25	≤ 30	≤ 30	≤ 20	≤ 30	≤ 30
150 - 300	≤ 25	≤ 40	≤ 40		≤ 30	≤ 25	≤ 20	≤ 25	≤ 25
≥ 300		≤ 40	≤ 40		≤ 30	≤ 25	≤ 15	≤ 20	≤ 20

Légende :

G.N.T : Grave non traitée.

G.H : Grave traitée au liant hydraulique.

G.B : Grave traitée au liant hydrocarboné.

B.B : Béton Bitumineux.

E.S : Enduit Superficiel.

B.H : Béton Hydraulique (Chaussée rigide).

ESSAI LOS ANGELES					
Sous-groupe :		Provenance de l'échantillon :			Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe Granulaire	Nombre de Boulets	Masse sèche du refus au 1,6 mm m' (g)	m (g) = 5000 – m'	Résultat: L_A

Figure I.2 : Feuille d'essai 'Los Angeles'

I.2.2. Essai de Fragmentation Dynamique

a- But de l'essai :

Détermination de la résistance d'un agrégat à un choc imprévu ou à un impact.

b- Principe de l'essai :

l'essai consiste à mesurer la fragmentation des granulats sous l'action d'une masse. Le pourcentage d'éléments inférieurs à 1,6 mm produit sous l'action des chocs est appelé coefficients F_D .

Cet essai a été conçu de manière à trouver, pour un même matériau, un résultat aussi proche que possible du coefficient Los Angeles, le processus d'évolution des granulats étant le même dans les deux essais.

Cet essai présente l'avantage d'être facilement réalisable sur chantier.

c- Appareillage et matériel utilisé :

- Machine de fragmentation dynamique comprenant un moule cylindrique et une masse guidée dans sa chute par deux colonnes (Figure I.3);
- Balance Électronique ;
- Tamis, bacs et brosses.



Figure I.3. Appareil de Fragmentation Dynamique

d- Mode Opérateur :

Prise d'échantillon : La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire est au moins égale à 1500 g. L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme NF P 18-553.

Préparation de l'échantillon:

- Laver l'échantillon et le faire sécher pendant 4H à l'étuve à une température ne dépassant pas 105°C, ensuite faire refroidir à la température ambiante.
- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des deux tamis de la classe granulaire choisie par ordre décroissant.
- La masse de l'échantillon pour essai est $M = 350 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$.

Exécution de l'essai :

- Introduire l'échantillon pour essai, dans le moule, en le répartissant uniformément.
- Le nombre de coups de masse correspondant à la classe granulaire choisie est donné sur le tableau I.3.
- Verser le récipient contenant les agrégats brisés en s'assurant que le récipient a été bien vidé.
- Tamiser le contenu au tamis 1,6 mm:

La masse du passant au tamis 1,6 mm est notée m ;

La masse du refus au tamis 1,6 mm est notée m' .

Il faut que $m + m' = M$ (la masse initiale) $\pm 1 \text{ g}$, sinon il faut refaire l'essai.

On représente sur la figure I.4 l'évolution de l'échantillon suite à l'essai de fragmentation.

Tableau I.3. Tableau fixant le nombre de coups par classe granulaire

Classe granulaire	Nombre de coups de masse
4 - 6,3	16
6,3 - 10	22
10 - 14	28

e- Résultats et Calculs :

Le coefficient F_D est par définition, le rapport: $F_D = \frac{m}{M} \cdot 100$, le résultat sera arrondi à l'unité la plus proche.

Un modèle de la feuille d'essai de Fragmentation dynamique est présenté sur la figure I.5.

f- Recommandations sur le coefficient de fragmentation dynamique F_D :

Étant donné que cet essai est équivalent à celui de Los Angeles, les mêmes recommandations sont valables pour les deux essais (voir section I.2.1.f).

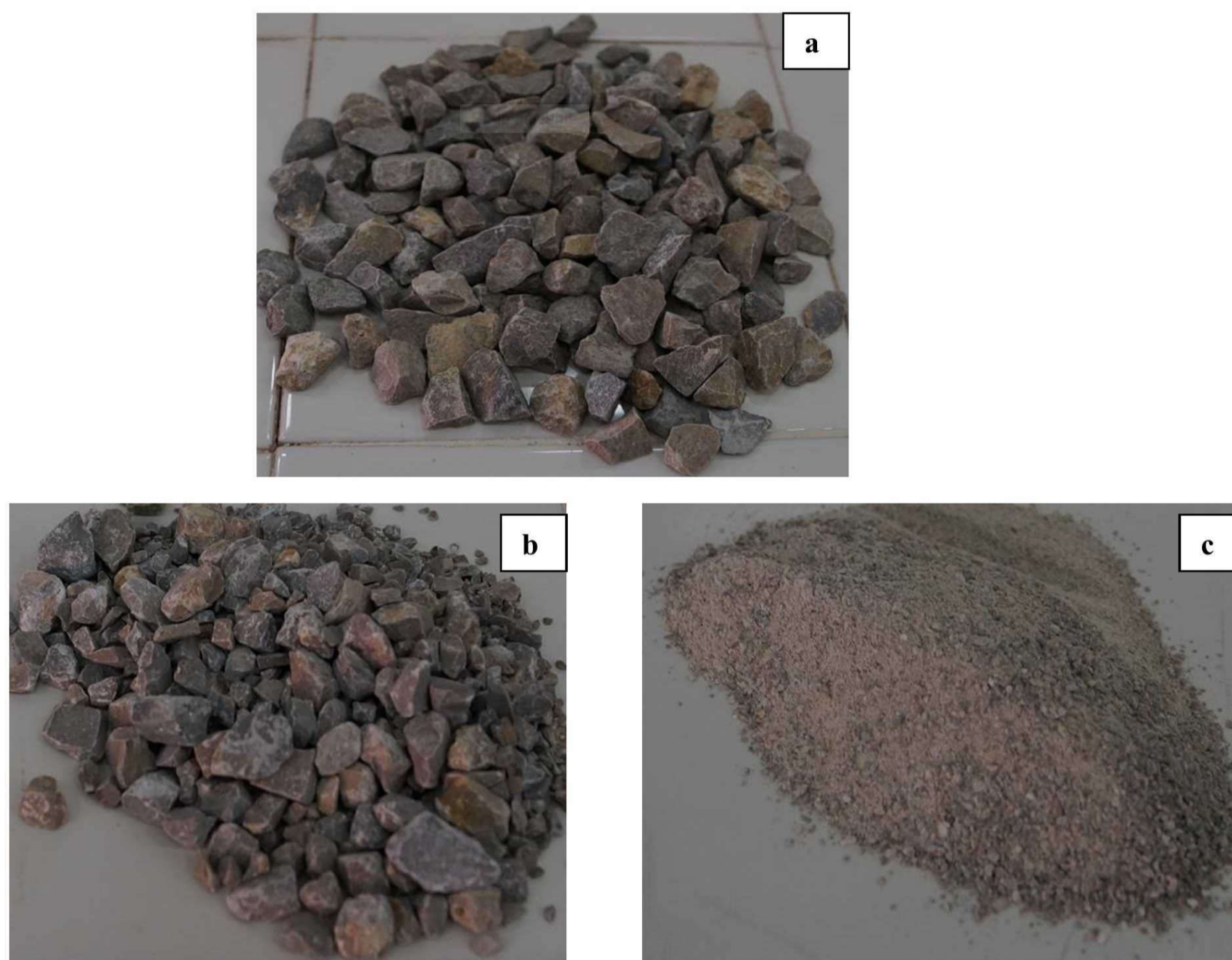


Figure I.4. Evolution du matériau soumis à l'essai de fragmentation (échantillon 10/14): (a) échantillon avant essai ; (b) refus sur le tamis 1,6 mm ; (c) passant au tamis 1.6 mm

ESSAI DE FRAGMENTATION DYNAMIQUE						
Sous-groupe:			Provenance de l'échantillon :			Date de l'essai:
N° Échantillon	Classe Granulaire	Masse initiale M (g)	Nombre de coups	Masse sèche du refus au 1,6 mm m' (g)	Masse sèche du passant au 1,6 mm m (g)	Résultat: F_D

Figure I.5 : Feuille d'essai 'Fragmentation Dynamique'

I.3. Résistance à l'usure

Les couches de roulement sont exposées aux forces de frottement provoqué par le roulage des véhicules, ainsi il est nécessaire de vérifier la résistance à l'usure des granulats utilisés.

I.3.1. Essai micro-Deval

a- But de l'essai :

Détermination de la résistance à l'usure des granulats.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer l'usure des granulats produite par frottements mutuels, en présence d'une charge abrasive (constituée par des billes en acier inox) dans un cylindre en rotation. En règle générale, l'échantillon est soumis à l'essai en présence d'eau (M_{DE}), mais l'essai peut également être effectué à sec (M_{DS}).

L'essai détermine le coefficient Micro - Deval qui est le pourcentage des éléments fins (inférieurs à 1,6 mm) produits au cours de l'essai.

c- Appareillage et Matériel utilisé:

- Machine Micro - Deval (Figure I.6);
- Jeu de tamis ;
- Balance électronique ;
- Charge Abrasive constituée de billes sphériques de $10 \pm 0,5$ mm de diamètre en acier inox ;
- Bacs, brosses et pissette.

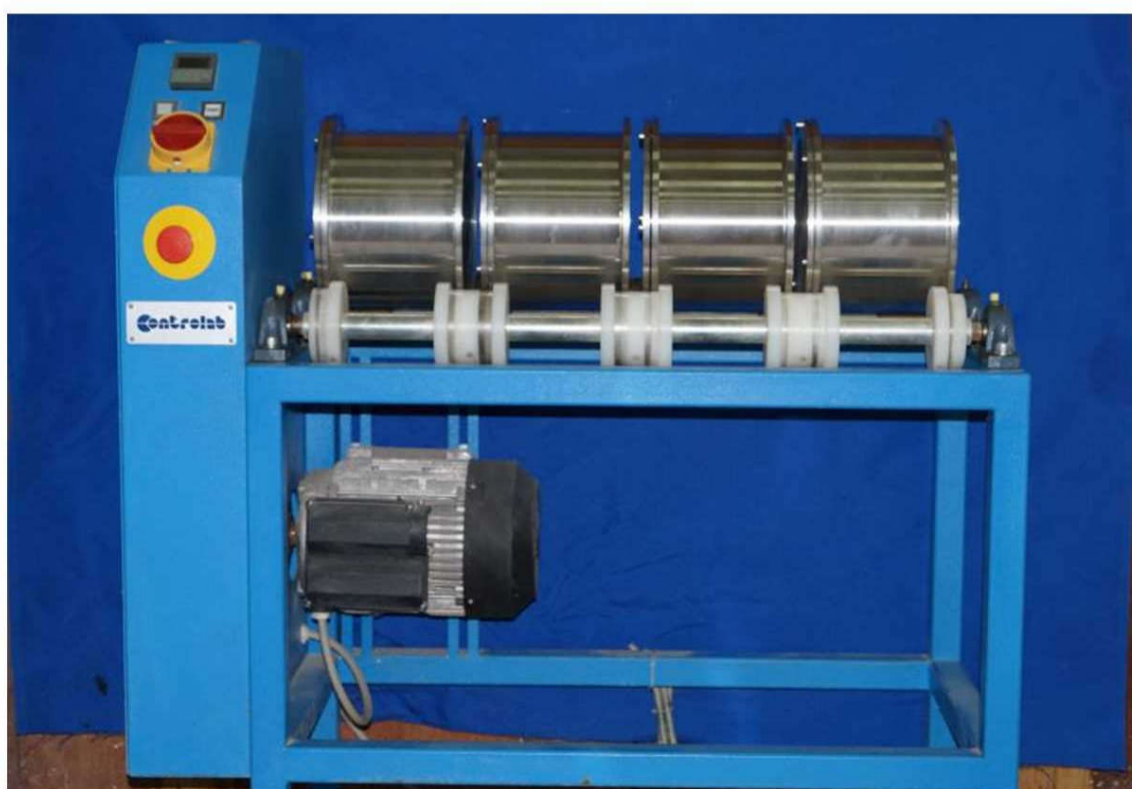


Figure I.6: Appareil micro-Deval à 4 cylindres

d- Mode Opérateur :

Prise d'échantillon :

- La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire est au moins égale à 2 Kg pour les gravillons entre 4 et 14 mm et 40 Kg pour les 25-50 mm.
- L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme en vigueur.

Préparation de l'échantillon pour essai :

- L'essai doit être effectué sur un lot de granulats ayant une granulométrie conforme à l'une des classes granulaires choisie.
- Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C ; la masse de l'échantillon pour essai sera de 500 ± 2 g pour les 4-14 mm et de 10 Kg ± 20 g pour les 25-50 mm.

Exécution de l'essai :

***cas des granulats 4-14 mm:**

Introduire dans le cylindre d'essai, la charge abrasive, puis 500 g de matériau préparé. La charge est fixée conformément aux indications du tableau I.4.

Tableau I.4. Charge abrasive pour les différentes classes granulaires

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4 – 6.3	2 000 +5
6.3 – 10	4 000+5
10 - 14	5 000+5

- Pour effectuer un essai en présence d'eau, on ajoute 2,5 litres d'eau.
- Mettre le cylindre en rotation à une vitesse de 100 tr/min ± 5 tr /min pendant 2H ou 12000 rotations.
- Après essai, récupérer le granulat et la charge abrasive dans un bac.
- Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre, en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.
- Tamiser le matériau dans le bac sur le tamis 1,6 mm, la charge abrasive sera retenue sur un tamis de 8 mm.
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive (à l'aide d'un aimant par exemple), en procédant en plusieurs fois pour faciliter l'opération.
- Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser le refus une fois séché, soit m' le résultat de la pesée.

*** Cas des granulats 25-50 mm :**

- Introduire dans le cylindre d'essai les 10 000 g du matériau préparé, puis ajouter 2 litres d'eau si l'essai sera effectué en présence d'eau.
- Mettre le cylindre en rotation à une vitesse de 100 tr/min \pm 5 tr /min pendant 2H20 ou 14 000 rotations.
- A la fin de l'essai, récupérer le granulat dans un bac et tamiser le matériau sur le tamis 1,6 mm.
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau en procédant en plusieurs fois pour faciliter l'opération.
- Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser le refus une fois séché, soit m' le résultat de la pesée.

e- Résultats et Calculs :

Le coefficient Micro DEVAL M_{DE} ou M_{DS} est par définition le rapport :

$$100 \frac{m}{M} = 100 \frac{M - m'}{M}$$

Où, M est la masse sèche de l'échantillon pour essai.

$m = M - m'$ est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis 1,6 mm.

$$M_{DE} \text{ ou } M_{DS} = 100 \frac{m}{M} .$$

La figure I.7 représente l'évolution du matériau après essai d'usure. On remarque bien le changement de la forme des gravillons; concassée puis arrondie après essai.

Un modèle de la feuille d'essai de Micro-Deval est présenté sur la figure I.8.

g- Interprétation des résultats :

Pour interpréter les résultats obtenus, on peut se servir du tableau I.5 donnant les valeurs de M_{DE} requises, pour les granulats pour enrobés hydrocarbonés, en fonction de la classe du trafic (Nbre de poids lourd par jour).

Tableau I.5. Spécifications des granulats pour les enrobés hydrocarbonés
(Granulats, sols, ciments et bétons par Dupain et al.)

Trafic Essieux De 13 Tonnes	Spécifications	Couche de liaison	Couche de Roulement
T4 (<25/Jour)	A	≤ 30	≤ 30
	L _A	≤ 30	≤ 25
	M _{DE}	≤ 25	≤ 20
	CPA		≥ 0,45
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50
T3 (25 à 150 /Jour)	A	≤ 30	≤ 25
	L _A	≤ 25	≤ 20
	M _{DE}	≤ 20	≤ 15
	CPA		≥ 0,50
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50
T2 (150 à 300 /Jour)	A	≤ 25	≤ 20
	L _A	≤ 25	≤ 20
	M _{DE}	≤ 20	≤ 15
	CPA		≥ 0,50
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50
T1 (300 à 750 /Jour)	A	≤ 20	≤ 20
	L _A	≤ 25	≤ 20
	M _{DE}	≤ 20	≤ 15
	CPA		≥ 0,50
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50
T0 (>750/jour)	A	≤ 20	≤ 20
	L _A	≤ 25	≤ 15
	M _{DE}	≤ 20	≤ 15
	CPA		≥ 0,50
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50

Notations :

A : Coefficient d'Aplatissement

L_A : Résistance au choc : Essai Los Angeles

M_{DE} : Résistance à l'usure en présence d'eau : Essai Micro-Deval

CPA : Coefficient de Polissage Accéléré

P : Propreté des gravillons

ES : Équivalent de sable



Figure I.7. Evolution du matériau soumis à l'essai Micro-Deval (échantillon 10/14):

(a) échantillon avant essai (forme concassée); (b) refus sur le tamis 1,6 mm (forme arrondie)

ESSAI MICRO-DEVAL							
Sous-groupe :				Provenance de l'échantillon :			Date de l'essai :
N° Échantillon (N° du cylindre)	Nature de l'essai M_{DE} ou M_{DS}	Classe Granulaire	Masse initiale M (g)	Charge abrasive (g)	Masse sèche du refus au 1,6 mm m' (g)	Masse sèche du passant au 1,6 mm m (g)	Résultat: M_{DE} Ou M_{DS}

Figure I.8 : Feuille d'essai 'Micro-Deval'

I.3.2. Essai Deval

a- But de l'essai :

Détermination de la résistance à l'attrition des granulats.

L'essai s'applique à tous les granulats de classe granulaire 25 – 50 mm, d'origine naturelle ou artificielle, utilisés pour le ballast des voies ferrées.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits, dans la machine Deval, par une combinaison de frottements réciproques et de chocs modérés des granulats. Il existe deux types d'essai Deval, à sec (coefficient Deval sec, noté D_S) ou en présence d'eau (coefficient Deval humide, noté D_H).

La mesure d'attrition s'exprime par un coefficient dit 'Coefficient Deval', qui est égal par définition, à $\frac{2800}{m}$.

Où m est la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits dans l'appareil Deval.

c- Appareillage et Matériel utilisé:

- Machine Deval: Appareil comportant un nombre pair de cylindres, équipé d'un moteur entraînant les cylindres en rotation à une vitesse de 30 à 33 tr/min. Un compte tours arrête automatiquement la machine au nombre de tours voulu (Figure I.9).
- Jeu de tamis ;
- Balance ;
- Bacs, marteaux, brosses et pissette.

d- Mode Opératoire :

Prise d'échantillon :

La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire est au moins égale à 15 Kg.

Préparation de l'échantillon pour essai :

Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.

L'essai s'effectue sur 7000 g \pm 5 g de granulats secs repartis comme suit:

- 4 200 g \pm 30 g de 25-40 mm,
- 2 800 g \pm 20 g de 40-50 mm.



Figure I.9 : Appareil Deval

Exécution de l'essai :

Introduire l'échantillon dans l'un des cylindres.

- Pour effectuer un essai Deval humide, on ajoute de l'eau jusqu'à ce qu'elle affleure le bord du cylindre.
- Faire effectuer aux cylindres $10\,000 \pm 10$ rotations, à une vitesse de 30 à 33 tr/min.
- Après essai, récupérer le granulat dans un bac.
- Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre, en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.
- Tamiser le matériau dans le bac sur le tamis 1,6 mm en protégeant ce dernier par un tamis d'ouverture 10 mm.
- Sécher l'ensemble des matériaux supérieurs à 1,6 mm à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.
- Récupérer les matériaux de l'étuve et les peser, soit m' le résultat de la pesée.

e- Résultats et Calculs :

Le coefficient DEVAL D_S ou D_H est par définition le rapport : $\frac{2800}{m}$ Où, $m = 7\ 000 - m'$ est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis 1,6 mm.

Le résultat est donné avec un seul chiffre après le virgule.

Il est possible que le résultat de l'essai Deval soit exprimé en pourcentage.

$$D = \frac{m}{7000} \cdot 100 \text{ (résultat en \%)}.$$

Un modèle de la feuille d'essai Deval est présenté sur la figure I.10.

f- Interprétation des résultats:

Les spécifications techniques relatives au ballast, utilisé pour les voies ferrées, imposent un coefficient Deval humide $D_H > 8$, selon le type de traverse et la vitesse des trains.

Pour les lignes ferroviaires à grandes vitesses, le coefficient Deval humide doit être supérieur ou égal à 14 ($D_H \geq 14$) pour les couches supérieures et à 11 ($D_H \geq 11$) pour les couches inférieures.



www.GCAlgerie.com

ESSAI DEVAL						
Sous-groupe:				Provenance de l'échantillon :		Date de l'essai :
N° Échantillon (N° du cylindre)	Nature de l'essai D_S ou D_H	Nature du matériau	Masse initiale M (g)	Masse sèche du refus au 1,6 mm m' (g)	Masse sèche du passant au 1,6 mm m (g)	Résultat: M_S ou M_H

Figure I.10 : Feuille d'essai 'Deval'

I.3.3. Essai de Friabilité des sables

a- But de l'essai :

Détermination de la résistance à la friabilité d'un sable.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer l'évolution granulométrique d'une fraction de sable (coupure: 0,2 – 2 mm ou 0,2 – 4 mm) produite par fragmentation dans un cylindre en rotation en présence d'eau et d'une charge broyante (billes métalliques).

Si M est la masse de l'échantillon soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à 0,1 mm produits au cours de l'essai, le coefficient de friabilité du sable est : $F_s = \frac{m}{M} \cdot 100$

c- Appareillage et Matériel utilisé :

- Machine Micro - Deval (Figure I.6);
- Jeu de tamis ;
- Balance électronique ;
- Charge abrasive constituée par des billes sphériques en acier Inox de diamètre: $(30^{+0,1}_{-0,5})$ mm, $(18^{+0,1}_{-0,5})$ mm et $(10 \pm 0,5)$ mm.

d- Mode Opérateur :

La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire est au moins égale à 2 kg.

Tamiser par voie humide l'échantillon sur les tamis 0,2 mm et 2 mm ou 4 mm.

Sécher à l'étuve à 105°C ; jusqu'à masse constante. La masse de l'échantillon pour essai sera de 500 ± 2 g.

Préparer la charge broyeuse comme suit:

- 9 billes de 30 mm de diamètre, dont la masse doit être comprise entre 925 g et 985 g;
- 21 billes de 18 mm de diamètre, dont la masse doit être comprise entre 440 g et 500 g;
- Complément de billes de 10 mm de diamètre, de telle façon que la masse totale de la charge broyeuse soit de $2\ 500 \pm 4$ g.

Exécution de l'essai :

- Introduire dans le cylindre d'essai, la charge abrasive ($2500 \text{ g} \pm 4$), puis 500 g de matériau préparé et enfin 2,5 l d'eau.
- Mettre le cylindre en rotation à une vitesse de 100 tr/min pendant 15 min.
- Après essai, récupérer le matériau et la charge abrasive dans un bac.
- Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre, en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.

- Tamiser le matériau dans le bac sur le tamis 0,1 mm, la charge abrasive sera retenue sur un tamis de 8 mm.
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive (à l'aide d'un aimant par exemple), en procédant en plusieurs fois pour faciliter l'opération.
- Sécher le refus au tamis 0,1 mm à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.
- Tamiser à sec au tamis 0,1 mm
- Peser le refus sur le tamis 0,1 mm, soit m' le résultat de la pesée.

e- Résultats et Calculs :

Le coefficient de friabilité d'un sable est par définition le rapport:

$$F_s = \frac{m}{M} \cdot 100 = \frac{M - m'}{M} \cdot 100.$$

Où, M est la masse sèche de l'échantillon pour essai.

$m = M - m'$ est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis 0,1 mm.

Un modèle de la feuille d'essai de friabilité des sables est présenté sur la figure I.11.

f- Interprétation des résultats:

Les spécifications techniques relatives aux sables, utilisés dans la couche de roulement en Béton bitumineux, imposent un coefficient de friabilité des sables F_s : $F_s \leq 45$ pour la fraction 0,2 - 2 mm et $F_s \leq 40$ pour la fraction 0,2 - 4 mm.

ESSAI DE FRIABILITE DES SABLES					
Sous-groupe :			Provenance de l'échantillon :		Date de l'essai :
N° Échantillon (N° du cylindre)	Nature du matériau	Masse initiale M (g)	Masse sèche du refus au 0,1 mm m' (g)	Masse sèche du passant au 0,1 mm m (g)	Résultat: F_s

Figure I.11 : Feuille d'essai 'Friabilité des sables'

I.4. Essai de Polissage accéléré ‘CPA’

Les gravillons utilisés dans les revêtements routiers doivent avoir des arêtes vives et des faces rugueuses pour lutter contre la glissance. Ces arêtes doivent conserver leur état dans le temps, cela se mesure par l’essai de résistance au polissage.

L’essai CPA décrit dans la norme européenne (NF EN 1097-8) se raccorde à l’ancien essai CPA français (XP P18-575) par la relation : Nouveau CPA = 100*ancien CPA + 1,5

a- But de l’essai :

Détermination du coefficient de polissage accéléré CPA (appelé aussi PSV: Polished Stone Value) des gravillons et cailloux utilisés dans les revêtements des routes.

b- Principe de l’essai :

Le CPA est une mesure de la résistance des gravillons et cailloux à l’action de polissage provoqué par les pneus automobiles dans des conditions similaires à celles qui règnent à la surface de la route.

Les éprouvettes sont préparées à partir des granulats passant au tamis 10 mm et retenus sur une grille de 7,2 mm. L’essai se déroule en 2 parties :

- Les éprouvettes sont soumises, en premier lieu, à l’action de polissage dans une machine de polissage accéléré.
- L’état de polissage des éprouvettes est mesuré à l’aide d’un pendule de frottement, pour en déduire le coefficient de polissage accéléré (CPA).

c- Appareillage et Matériel utilisé:

- Machine de polissage accéléré (figure I.12);
- Moules métalliques pour la préparation des éprouvettes (Figure I.13) ;
- Pendule de frottement (figure I.14) ;
- Jeu de tamis ;
- Une grille à fentes de 7,2 mm d'écartement entre les barreaux;
- Pied à coulisse ;
- Spatule, pinceaux et récipients.

d- Matériaux utilisés:

- Cire liquide pour carrosserie ;
- Résine synthétique et durcisseur ;
- Émeri naturel grossier selon norme NF EN 1097-8;
- Émeri naturel fin selon norme NF EN 1097-8;
- Sable fin ;
- Matériau de référence dont la valeur moyenne du CPA est voisine de 50.

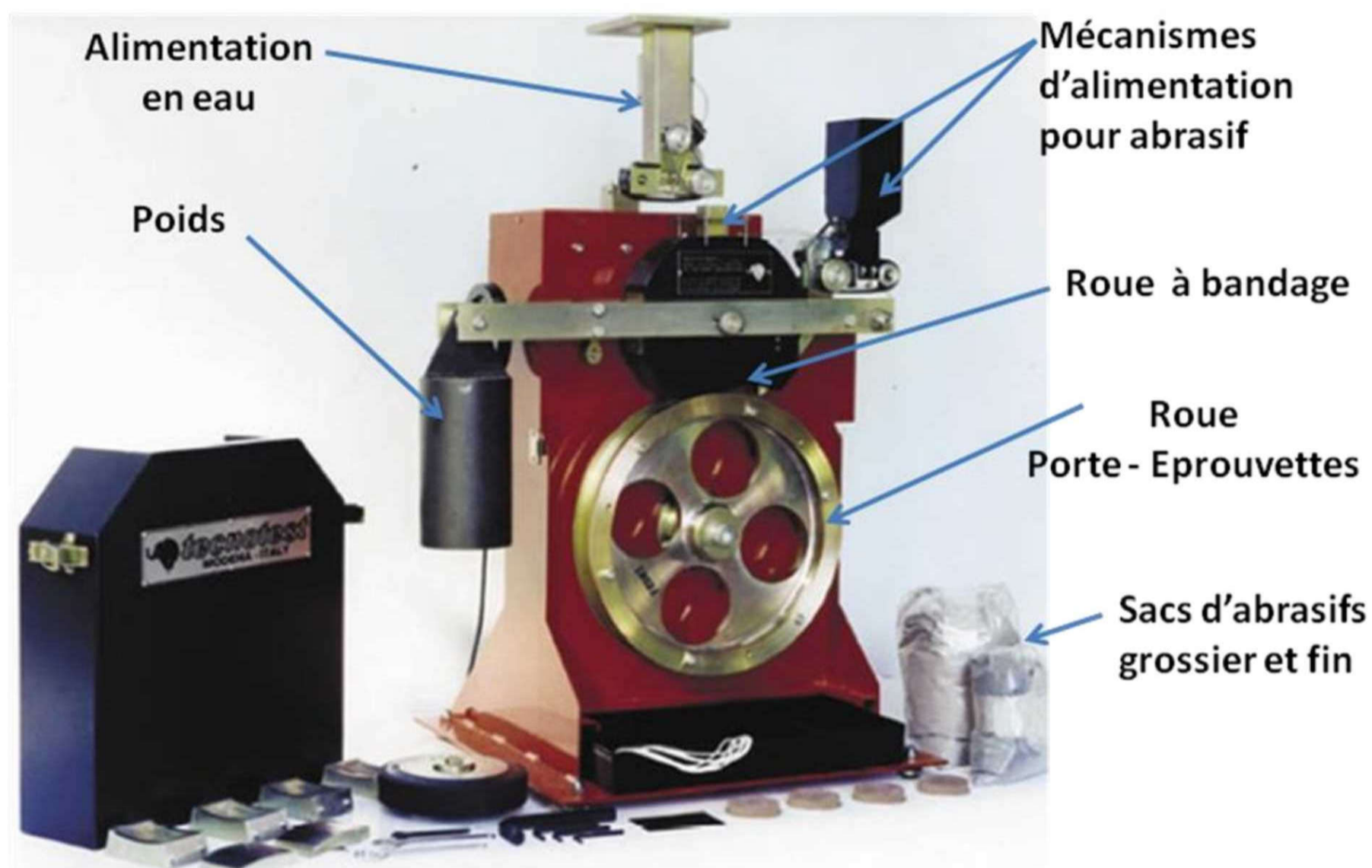


Figure I.12 : Machine de Polissage accéléré

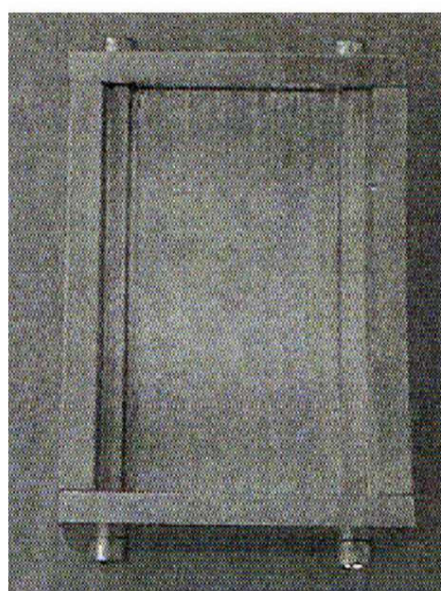


Figure I.13 : Moule de préparation des éprouvettes

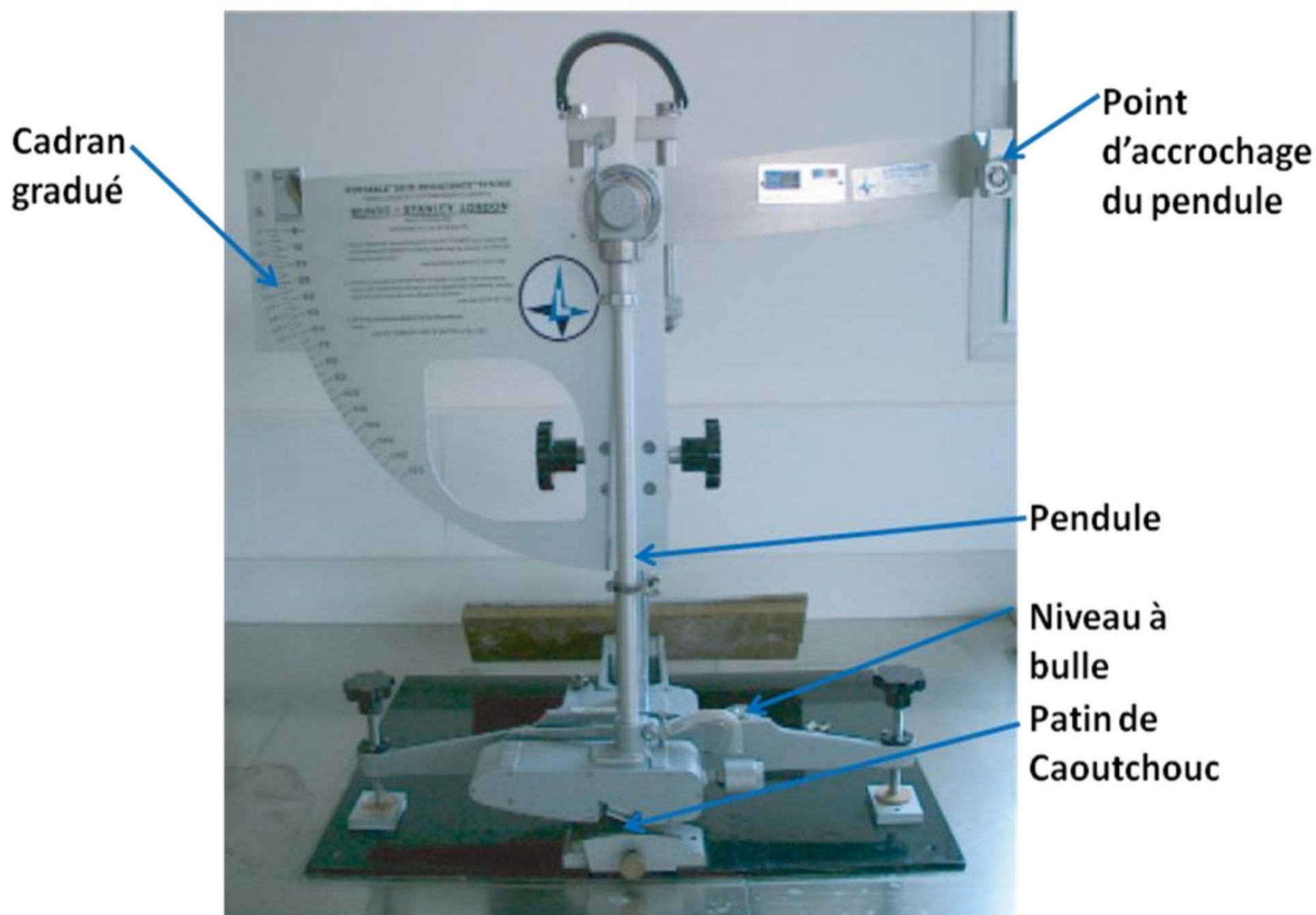


Figure I.14 : Pendule de Frottement

e- Mode Opérateur :

Préparation des éprouvettes :

Passer, tout d'abord, l'échantillon au tamisage, de telle façon que les grains passent au travers du tamis de 10 mm et soient retenus sur la grille à fentes de 7,2 mm.

Laver l'échantillon obtenu et le sécher à l'étuve à 105°C, en retirant toute pierre oblongue isolée en se servant d'un pied à coulisse;

A l'aide de pinceau à poils fins, enduire légèrement les faces internes et les bords supérieurs des moules métalliques avec un agent de démoulage tel que la cire pour carrosserie ;

En appliquant les méthodes de préparation ci-après, préparer quatre éprouvettes de chaque granulat et quatre autres du matériau de référence. Chaque éprouvette doit être composée de 36 grains à 46 grains.

Préparer chaque éprouvette en formant une seule couche à partir des pierres retenues, en plaçant les cotés plans de ces dernières contre le fond du moule et en les serrant le plus possible pour recouvrir au maximum le fond du moule ;

Comblar les interstices entre ces pierres sur trois quarts de leur profondeur avec du sable fin ($<0,16$ mm). Le niveau de sable doit être le même sur toute l'éprouvette ;

Mélanger la résine avec le durcisseur dans un récipient, ensuite remplir le moule à ras bords avec ce mélange de résine puis retirer le surplus avec une spatule.

Après 10 min, ôter avec un couteau toute la résine qui dépasse les bords du moule. Presser le couvercle métallique contre l'arrière de l'éprouvette à l'aide de poids.

Procéder au démoulage de l'échantillon, après 30 min du début de mélange de la résine, puis retirer le sable fin à l'aide d'un pinceau à poils durs.

Vérifier que chaque éprouvette préparée ne présente pas d'arrêtes saillantes acérées et que son épaisseur dépasse 12,5 mm. Éliminer toute éprouvette non conforme.

Polissage des éprouvettes :

Les éprouvettes à polir sont en nombre de 14 et sont numérotées comme suit :

- Deux éprouvettes (02) du premier granulats, numérotées 1 et 2 ;
- Deux éprouvettes (02) du deuxième granulats, numérotées 3 et 4 ;
- Deux éprouvettes (02) du troisième granulats, numérotées 5 et 6 ;
- Deux éprouvettes (02) du quatrième granulats, numérotées 7 et 8 ;
- Deux éprouvettes (02) du cinquième granulats, numérotées 9 et 10 ;
- Deux éprouvettes (02) du sixième granulats, numérotées 11 et 12 ;
- Deux (02) éprouvettes de la pierre de référence, numérotées 13 et 14.

Placer les éprouvettes dans l'ordre suivant : 13, 9, 3, 7, 5, 1, 11, 14, 10, 4, 8, 6, 2, 12. En cas où l'on ne dispose pas de 3 granulats, on peut utiliser des éprouvettes de réserve pour remplir la roue de la machine CPA.

- Fixer les éprouvettes sur la roue porte-éprouvettes dans l'ordre sus cité et marquer les éprouvettes.
- Faire tourner la roue porte-éprouvettes à une vitesse de 320 ± 5 tr /min.
- Ajuster le contact entre la roue à bande en caoutchouc et les échantillons.
- Programmer sur le Timer 180 min, puis commencer l'alimentation en émeri grossier (avec une cadence de 27 g/min) tout en ouvrant la vanne de l'eau. Adapter le débit de l'eau de telle sorte que les grains se déposent bien sur le roue.
- Après 180 min, arrêter la machine et nettoyer l'ensemble pour enlever toute trace d'émeri grossier.
- Installer la roue pour abrasif fin et programmer sur le Timer 180 min, puis commencer l'alimentation en émeri fin (avec une cadence de 3 g/min) tout en ouvrant la vanne de l'eau.
- Au bout de 180 min, arrêter la machine et nettoyer l'ensemble ensuite retirer les éprouvettes et les laver à l'eau en utilisant une brosse à poils durs.
- Conserver les éprouvettes en les émergeant dans l'eau, dans la position pierres vers le bas, à

une température de $(20 + 2)$ °C, pendant 30 à 120 min. Retirer les éprouvettes et procéder immédiatement à l'essai de frottement sur les éprouvettes toujours montées sur la roue (un bâti spécial est nécessaire), soit sur les éprouvettes détachées de la roue.

- Répéter l'intégralité du mode opératoire avec les deux éprouvettes restantes du granulats et de pierre de référence.

Mesure du coefficient de frottement :

La mesure du coefficient CPA s'effectue sur une échelle graduée de 0 à 100 toutes les deux unités.

Procéder au réglage préalable du pendule de frottement, en se référant à la norme NF EN 1097-8.

- Fixer la première éprouvette en la plaçant de telle sorte que le patin du pendule la traverse dans la direction opposée au sens de rotation qu'elle avait sur la roue porte-éprouvettes.
- Régler la longueur de contact patin-éprouvette à (76 ± 1) mm.
- Effectuer 5 lâchers en humidifiant chaque fois l'éprouvette et prendre la lecture.
- Enregistrer la moyenne des trois dernières mesures et arrondir le résultat à 0,1 près.
- Les éprouvettes sont soumises à l'essai dans l'ordre suivant : 13, 1, 10, 3, 5, 12, 8.
- Retourner le patin et utiliser la deuxième arrête active afin de soumettre les sept autres éprouvettes à l'essai dans l'ordre suivant: 7, 11, 6, 4, 9, 2 et 14.
- Répéter le même mode opératoire avec les deux éprouvettes restantes du granulats et de pierre de référence.

f- Résultats et Calculs :

Calculer le CPA, en arrondissant à l'entier le plus proche, à partir de l'équation suivante:

$$CPA = S + (52,5 - C)$$

Avec: S est la moyenne des valeurs enregistrées pour les quatre éprouvettes de granulats (deux pour chaque essai) en additionnant les moyennes de chaque essai puis en divisant par deux.

C est la moyenne des valeurs obtenues pour les quatre éprouvettes de pierre de référence du CPA (deux pour chaque essai) en additionnant les moyennes de chaque essai puis en divisant par deux..

Un modèle de la feuille d'essai CPA est présenté sur la figure I.15.

f- Interprétation des résultats :

D'une façon générale, un granulat de bonne qualité doit avoir un CPA ≥ 50 .

Le coefficient CPA varie de 30 à 65 :

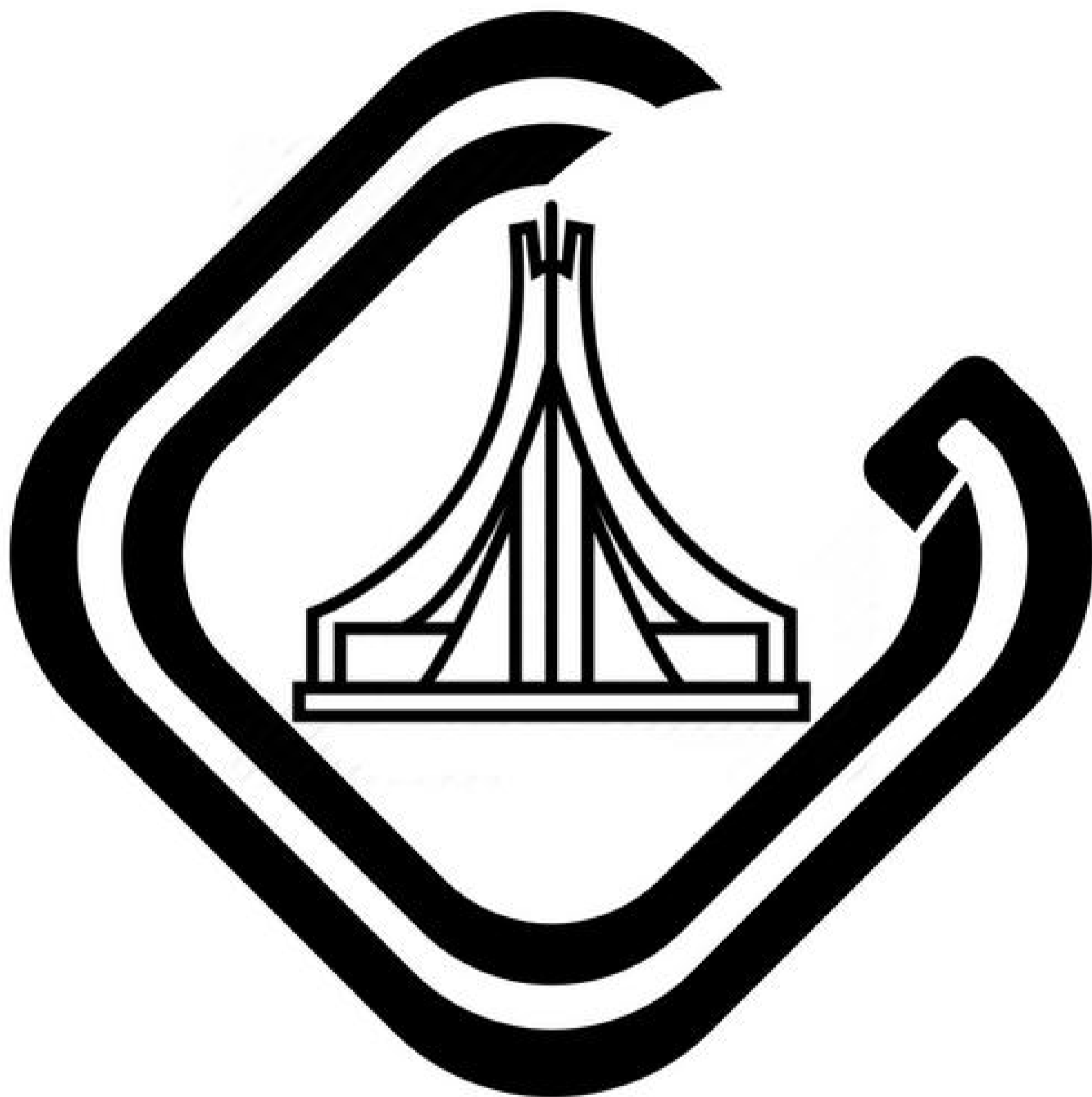
- CPA < 35: Granulat médiocre, ne doit pas être utilisé en couche de roulement.
- 35 < CPA < 45: Granulat de qualité moyenne, utilisable pour un trafic faible.
- 45 < CPA < 55: Granulat de bonne qualité, utilisable pour un trafic moyen.
- CPA > 55: granulat de très bonne qualité, utilisable pour un trafic élevé.



www.GCAlgerie.com

ESSAI CPA						
Sous-groupe :			Provenance de l'échantillon : CPA référence 'C':		Date de l'essai :	
Échantillon Et éprouvettes	Lâchers			Moyenne De l'essai	Moyenne des deux essais	Résultat: CPA = S+(52,5- C)
	1	2	3			
Ech. réf	13			Moyenne Essai 1:	C =	X
	14					
	13'			Moyenne Essai 2:		
	14'					
Ech. 1	1			Moyenne Essai 1:	S =	CPA:
	2					
	1'			Moyenne Essai 2:		
	2'					
Ech. 2	3			Moyenne Essai 1:	S =	CPA:
	4					
	3'			Moyenne Essai 2:		
	4'					
Ech. 3	5			Moyenne Essai 1:	S =	CPA:
	6					
	5'			Moyenne Essai 2:		
	6'					

Figure I.15 : Feuille d'essai 'Coefficient de Polissage Accéléré'



www.GCAlgerie.com

Bibliographie

Arquié G, Tourenq C. ‘Granulats’. Presse de l'école nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1990.

C. Toreno, A. Maldonado ‘L’essai de fragmentation dynamique des granulats’, Bulletin de liaison du LCPC n° 59, 1972.

R. Dupain, R. Lanchon, J-C. Saint - Arroman ‘ Granulats, sols, ciments et bétons’, éditeur Casteilla, 2009.

Normes utilisées :

NF P 18-553 ‘Granulats – Préparation d’un échantillon pour essai’, AFNOR, 1990.

NF P 18-572 ‘Granulats - Essai d’usure micro-Deval’, AFNOR, 1990.

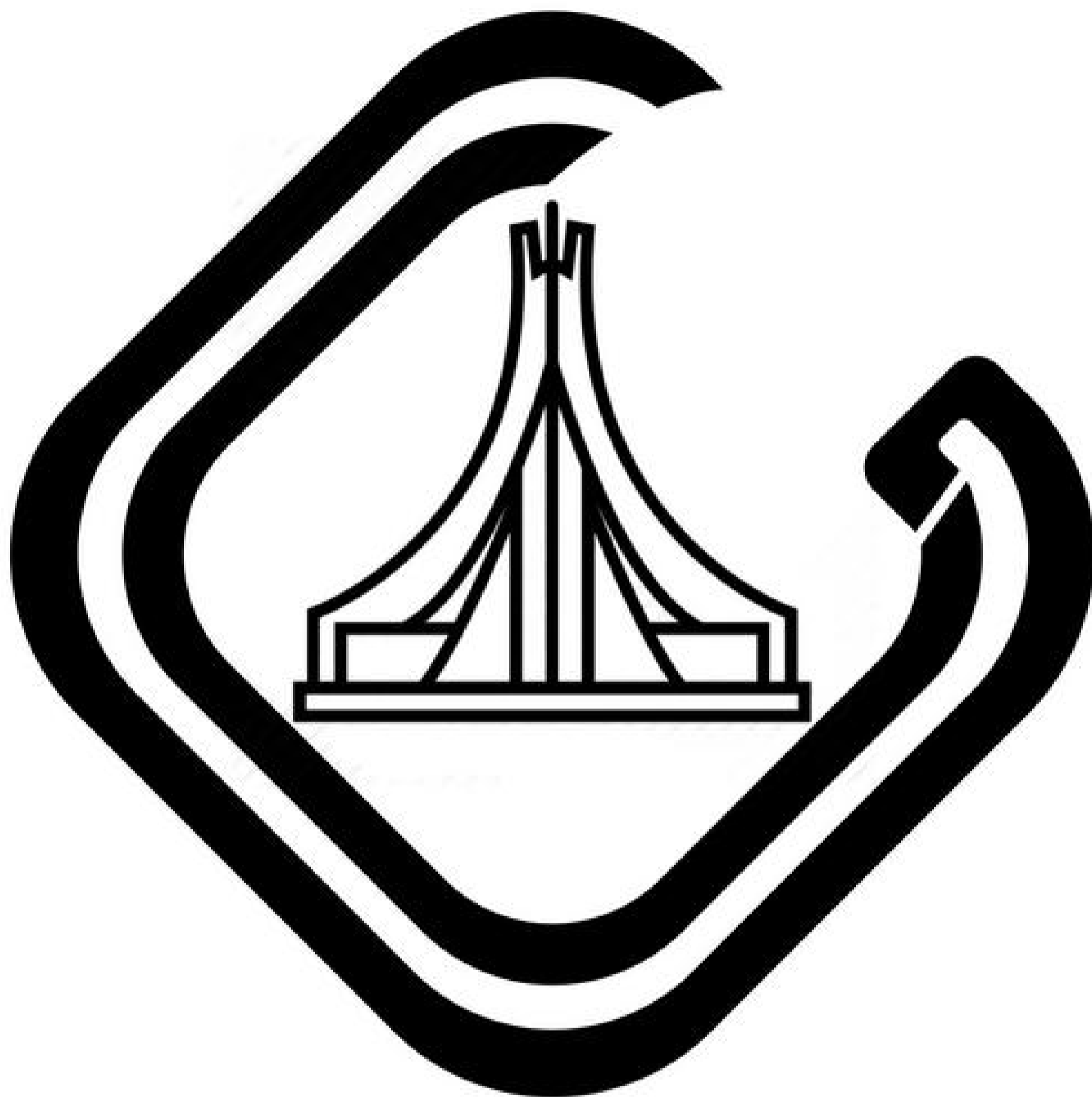
NF P 18-573 ‘Granulats - Essai Los Angeles’, AFNOR, 1990.

NF P 18-574 ‘Granulats - Essai de Fragmentation Dynamique’, AFNOR, 1990.

NF P 18-576 ‘Granulats – Détermination du coefficient de Friabilité du sable’, AFNOR, 1990.

NF P 18-578 ‘Granulats – Mesure de la rugosité d'une surface à l'aide du pendule de frottement ’, AFNOR, 1990.

NF P EN 1097-8 ‘Essais sur les propriétés mécaniques et physiques des granulats-Partie 8 : Détermination du coefficient de polissage accéléré’, AFNOR, 2000.



www.GCAlgerie.com

deuxième partie
**ESSAIS SUR LIANTS
HYDROCARBONES**



www.GCAlgerie.com

II.1. Généralités

Les liants hydrocarbonés utilisés dans la construction routière sont les goudrons et les bitumes.

II.1.1. Les goudrons :

Les goudrons utilisés en technique routière proviennent de la distillation de la houille (cokeries, usines à gaz).

Le goudron brut est très fluide et c'est cette qualité qui lui a valu d'être utilisé le premier comme liant pour les enduits superficiels d'étanchéité. Cette fluidité est due à la présence d'huiles (38%) : Huiles légères (benzols), moyennes et lourdes (phénols et naphols). Les huiles ne servent qu'à faciliter la mise en œuvre du goudron, elles s'évaporent rapidement et ne sont pas utiles comme agglomérant.

Les goudrons utilisés en construction routière sont des **goudrons reconstitués**.

Les goudrons sont reconstitués à partir de brais et d'huiles épurées de différentes viscosités afin de fluidifier le liant et le rendre facilement utilisable par un chauffage approprié. Ces huiles servent à faciliter la mise en œuvre et à offrir la souplesse, la cohésion et l'adhérence au liant et pour que ce dernier ne resse pas par temps chaud et ne devient pas cassant et fragile par temps froid.

La distillation fractionnée du goudron brut —————> **un résidu : Brai.**

Goudron Brut					Brai de houille
0°	170°	230°	270°		360° (T)
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Huile légère	Huile moyenne	Huile lourde	Huile anthracénique		
	(naphtaline et		légère	moyenne	lourde
	phénol actif)		(270:300)	(300:320)	(320:360)

Brai + ajouts d'huiles moyennes et lourdes —————> **Goudrons Reconstitués**
(soigneusement dosés)

Il y a 2 catégories de goudrons :

- Les goudrons à vieillissement normal, dénommés A, B, C, D et E en allant du plus fluide au plus visqueux.
- Les goudrons à vieillissement lent, appelés goudrons T.R.S. (Températures de Ramollissement Superficiel).

N.B:

- Les goudrons n'adhèrent bien qu'à des matériaux secs.
- Les goudrons sont des produits cancérigènes, c'est pour quoi leur utilisation, en construction routière, a été abandonnée et il a été adopté les bitumes comme liants routiers.

II.1.2. Les bitumes:

Les bitumes ont une origine et une composition chimique différente de celles des goudrons. Ils sont des hydrocarbures saturés solubles dans le sulfure de carbone. Ils contiennent en moyenne 80 à 85 % de carbone, 10 à 15 % d'hydrogène, 2 à 3 % d'oxygène et, en faible quantité, du soufre, de l'azote et divers métaux à l'état de traces. A température ambiante, il est très visqueux, presque solide et présente deux caractéristiques importantes : c'est un agglomérant avec un fort pouvoir adhésif et il est imperméable à l'eau.

Selon l'origine, on distingue :

- **Les bitumes asphaltites naturels** (bitumes de Trinidad (figure II.1), par exemple) : Ils sont utilisés après épuration par fusion. On trouve également des roches asphaltiques généralement des calcaires imprégnés de bitume.
- **Les bitumes asphaltites préparés** : Ils proviennent de la distillation fractionnée des pétroles bruts asphaltiques qui contiennent en général beaucoup de bitume (figure II.2).



Figure II.1. Lac d'asphalte (Trinidad)

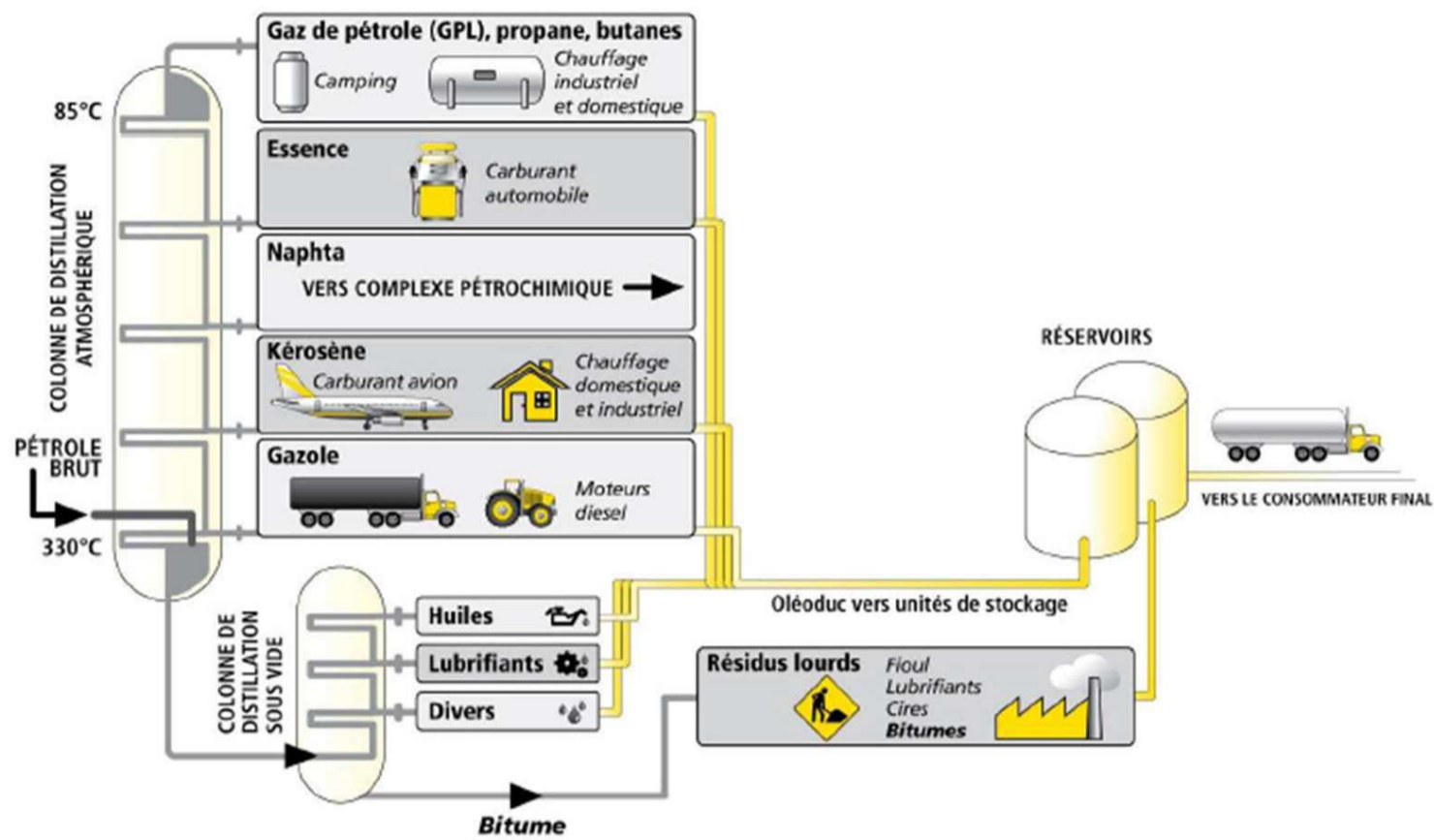


Figure II.2. Schéma de fabrication de bitume

Les liants bitumineux peuvent être classés en quatre grandes catégories:

Les bitumes purs, les bitumes modifiés, les bitumes fluidifiés ou fluxés et les émulsions de bitume.

Les bitumes purs se classent d'après leur dureté (caractérisée par la pénétration qui se mesure par l'enfoncement exprimé en dixième de mm, durant 5 secondes à la T° 25°C, d'une aiguille standard chargée de 100 grammes). On distingue les catégories suivantes (Tableau II.1) :

Tableau II.1: Catégories des bitumes purs

Catégories des Bitumes	Utilisation
- Les bitumes durs de grade 20/30 à 160/220 (pénétrabilité à 25°C)..	Fabrication des enrobés bitumineux et de certaines émulsions.
- les bitumes semi-durs de grade 250/330 à 650/900 (pénétrabilité à 15°C).	Préparations des émulsions d'hiver
- Les bitumes mous spécifiés par leur viscosité cinématique à 60°C	revêtements routiers

N.B:

- **Fluxer un bitume dur** : c'est le mélanger à une huile de fluxage.
- **Fluidifier un bitume** : c'est ajouter à un bitume dur un diluant (solvant).
- **Bitume modifié** : bitume dont les propriétés rhéologiques ont été modifiées pendant la fabrication par l'emploi d'un ou plusieurs agents chimiques.

Dans la catégorie des bitumes fluidifiés, utilisés généralement dans les enduits superficiels, il y a cinq classes définies selon leur pseudo-viscosité (Tableau II.2):

Tableau II.2. Différentes classes des bitumes fluidifiés

Pseudoviscosité mesurée au viscosimètre BRTA (en s)	Classes				
	0-1	10-15	150-250	400-600	800-1400
- Orifice 4 mm, à 25°C	<30				
- Orifice 10 mm, à 25°C		10 à 15	150 à 250	400 à 600	
- Orifice 10 mm, à 40°C					80 à 200

• Produits dérivés et composés

(a) Emulsions routières :

Les bitumes et les goudrons présentent l'inconvénient de n'être pas suffisamment fluides pour être utilisés à froid ; les bitumes fluidifiés emploient des huiles volatiles d'un prix assez élevé. Tous ces produits n'adhèrent bien qu'à des matériaux secs. Les émulsions de bitumes, au contraire, faciles à fabriquer, sont utilisables à froid et ont une bonne adhérence aux matériaux humides à condition que le séchage de l'ensemble ne dure pas trop longtemps.

Les émulsions de bitumes sont obtenues en agitant du bitume dans l'eau bouillante contenant un émulsionnant : savons, résines, etc.

Les émulsions normales sont à 50% de bitumes, les émulsions d'étanchéité sont à 65% ou 70% de bitume.

(b) Les mélanges Goudrons – Bitumes :

Les mélanges goudron – bitume à faible teneur en bitume (moins de 20%) sont moins sensibles que les goudrons aux variations de T°, de plus le bitume ralentit l'évaporation des huiles de goudron et par conséquent retarde son vieillissement.

II.1.3 Essais réalisés sur les bitumes et dérivés

II.1.3.1. Essais à effectuer sur les bitumes durs

- Pénétrabilité à 25°C
- Point de Ramollissement (Essai Bille et anneaux)
- Ductilité à 25° C
- Point d'éclair, minimum (Essai Cleveland)
- Perte de masse au chauffage
- Point de Fragilité Fraas, maximum
- Solubilité (dans le tétrachloroéthylène (C₂Cl₄) (%))
- Teneur en Paraffines

II.1.3.2. Essais à effectuer sur les bitumes fluidifiés et fluxés

- Pseudoviscosité
- Densité relative
- Point d'éclair
- Adhésivité
- Distillation Fractionnée.

II.1.3.2. Essais à effectuer sur les émulsions de bitume

- Identification
- Teneur en liant
- Viscosité
- Stabilité au stockage
- Adhésivité
- Susceptibilité

Dans ce qui suit, on présentera uniquement les essais, sur les liants hydrocarbonés, les plus importants et les plus courants dans le laboratoire routier. Cela dépendra également de la disponibilité du matériel spécifique aux essais sur les liants hydrocarbonés.

II.2. Essai de pénétrabilité à l'aiguille:

Les bitumes purs se classent d'après leur dureté caractérisée par l'essai de pénétrabilité.

a- But de l'essai :

Détermination de la classe du bitume.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer l'enfoncement d'une aiguille normalisée (en utilisant le pénétromètre à bitume) dans un échantillon de bitume placé dans un Gobelet.

c- Matériel utilisé :

- Pénétromètre à bitume (Figure II.3).
- Etuve.
- Récipient, gobelet, spatule.



Figure II.3 : Pénétrömètre à bitume

d- Mode opératoire :

Préparation de l'échantillon

- Chauffer l'échantillon jusqu'à devenir suffisamment fluide pour pouvoir être versé.
- Agiter l'échantillon, ensuite le verser dans le Gobelet préchauffé. Pour les bitumes durs, on utilisera le gobelet A dont les dimensions sont données au tableau II.3.
- Protéger le Gobelet et son contenu et laisser à T° ambiante (20° à 30°C) pendant 1H30 à 2H.
- Placer le Gobelet dans une cuve de transfert et mettre le tout dans un bain marie de température 25°C pendant 1H30 à 2H30 (le gobelet doit être recouvert complètement avec l'eau du bain).
- La durée comprise entre la fin du coulage de l'échantillon dans le Gobelet et la mesure de la pénétrabilité ne doit pas dépasser 4H.

Détermination de la pénétrabilité

- Placer la cuve de transfert, contenant le gobelet, sur le plateau du pénétromètre.
- Déplacer l'aiguille chargée (charge totale 100g+0,1g) pour qu'elle affleure exactement la surface de la prise d'essai.
- Déplacer le comparateur de telle sorte que la tige soit juste en contact avec le porte -aiguille.
- Libérer l'aiguille pendant 5s+0,1s et la bloquer aussitôt.
- Mesurer ensuite la profondeur d'enfoncement au 1/10^{ème} de mm.
- Effectuer 3 mesures en des points différents de la surface de la prise d'essai, distants d'au moins 10 mm les uns des autres et du bord du gobelet.

Remarque:

Pour les bitumes plus mous, de pénétration supérieur à 350, utiliser le Gobelet B (Tableau II.3) et déterminer la pénétration en appliquant une charge totale de 50g .Une valeur approchée de la pénétration dans les conditions standards(25°, 100g, 5s) est alors donnée par la formule : $P_{100} = P_{50} * 1,414$.

Tableau II.3. Dimensions normalisées des Gobelets

GOBELETS	A	B
DIAMETRE (mm)	55	55
PROFONDEUR (mm)	35	57

e- Calcul:

On prendra la moyenne des trois mesures obtenues selon le modèle de la feuille d'essai présentée sur la figure II.4.

f- Interprétation des résultats:

Le résultat trouvé est comparé aux différentes classes des bitumes disponibles sur le marché afin de déterminer la classe du bitume analysé.

ESSAI DE PENETRABILITE A L'AIGUILLE						
Sous-groupe :					Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe présumée de l'échantillon	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Moyenne Des mesures	Résultat: Classe du bitume

Figure II.4: Feuille d'essai de pénétrabilité à l'aiguille

II.3. Essai Bille - Anneau:

Le point de ramollissement est la température à laquelle le liant bitumineux atteint certaine consistance dans des conditions standards.

a- But de l'essai :

Détermination de la température de ramollissement des bitumes et des liants bitumineux.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à déterminer la température à laquelle la prise du matériau devient assez molle pour que la bille, ayant pénétré le produit bitumineux, tombe enveloppée de celui-ci, d'une hauteur déterminée. Cette température est appelée température de ramollissement.

c- Matériel utilisé :

- Appareil bille-anneau (Figure II.5);
- Bécher en verre;
- Etuve;
- Thermomètre, spatule, pince.



(1) Thermomètre ; (2) Anneau ; (3) Billes ; (4) Dispositif de centrage des billes ;
(5) Bécher ; (6) Dispositif d'essai bille-anneau

Figure II.5 : Appareil Bille – Anneau

d- Mode opératoire :

Préparation de l'échantillon

- Chauffer l'échantillon lentement. Ne pas dépasser le point de ramollissement présumé de plus de 110°C.
- Verser l'échantillon dans 2 anneaux eux mêmes préchauffés à la même température. Pendant cette opération, les anneaux reposent sur une plaque enduite d'un mélange de glycérine et de dextrine pour éviter l'adhérence du produit.
- Laisser refroidir pendant 30 min.
- Enlever l'excès de produit par arasement, en utilisant une spatule ou un couteau légèrement chauffé.

Exécution de l'essai

- Assembler l'appareillage avec les anneaux d'échantillon.
- Placer le bécher, rempli d'eau distillée, dans de l'eau glacée pour refroidir jusqu'à $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

- Maintenir pendant 15 min à une température de 5°C, en plaçant si nécessaire le béccher dans de la glace fondante.
- A l'aide d'une pince, placer des billes dans chacun des dispositifs de centrage.
- Placer le béccher sur la plaque chauffante.
- La température devra être augmentée uniformément de 5°C/min.
- Noter la température indiquée par le thermomètre au moment où le liant bitumineux qui entoure la bille touche la plaque inférieure.

e- Résultat et commentaires:

Le point de ramollissement correspond à la température relevée à la fin de l'essai. Un modèle de la feuille d'essai est présenté sur la figure II.6.

Chaque classe de bitume a une température de ramollissement située dans un intervalle bien défini (Tableau II.4).

En Algérie, le bitume dur le plus utilisé est de classe 40-50 qui a une température de ramollissement comprise entre 48 et 58°C.

ESSAI BILLE - ANNEAU				
Sous-groupe :			Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe de l'échantillon	Point de ramollissement min et max (selon classe)	Température de ramollissement mesurée	Résultat: Conforme / Non conforme

Figure II.6: Feuille d'essai Bille – Anneau

Tableau II.4. Spécifications des bitumes purs

Classes de bitumes	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
Pénétrabilité à 25°C	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
Point de ramollissement bille et anneau (°C)	55 à 63	52 à 60	50 à 58	48 à 56	46 à 54	43 à 51	39 à 47	35 à 43	30 à 38
Ductilité à 25°C (cm)	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 80	≥ 80	≥ 100	≥ 100	≥ 100
Point d'éclair (°C)	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220	≥ 220
Point de feu (°C)	≥ 340	≥ 340	≥ 340	≥ 330	≥ 330	≥ 330	≥ 330	≥ 320	≥ 320

II.4. Essai de Ductilité:

La ductilité est une caractéristique du matériau qui lui permet de s'allonger sans se rompre.

a- But de l'essai :

Détermination de la ductilité des liants bitumineux par élongation.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer l'allongement, à la rupture, d'une éprouvette de forme déterminée et étirée à une vitesse et une température normalisées.

c- Matériel utilisé :

- Ductilimètre (Figure II.7);
- Moule et plaque de moulage (Figure II.8);
- Etuve;
- Thermomètre, spatule.

d- Mode opératoire :

Préparation de l'échantillon

- Chauffer l'échantillon jusqu'à ce qu'il devient fluide.
- Appliquer un enduit sur la plaque et les surfaces interne du moule en utilisant un mélange de 50% de glycérine et 50% de dextrine pour éviter l'adhérence du produit.
- Placer le moule sur une surface plane, puis le moule sur la plaque.
- Remplir le moule à ras bord de l'échantillon.

- Laisser refroidir pendant 30 à 40 min à la température ambiante.

Déroulement de l'essai

- Mettre en marche le bain thermostatique, la température doit être réglée à 25°C.
- Placer l'éprouvette dans le bain pendant 1H30 min.
- Enlever la plaque et poser l'éprouvette sur les ergots de la machine.
- Mettre en translation le chariot, les deux pattes du moule s'éloignent à vitesse constante, jusqu'à rupture de l'éprouvette. L'éprouvette doit constamment baigner dans l'eau durant l'essai.
- Au moment de la rupture, arrêter la translation du chariot, puis mesurer en cm la distance d'allongement.

e- Résultats et commentaires:

La ductilité est exprimée en cm, est représentée la distance d'écartement des deux pattes du moule pour obtenir la rupture de l'éprouvette.

Un modèle de la feuille d'essai est présenté sur la figure II.9.

Chaque bitume, d'une classe donnée, doit avoir un allongement minimal avant la rupture (Tableau II.4).

Remarque:

Avec le même matériel, on peut réaliser également l'essai du retour élastique sur les bitumes modifiés (Norme NF EN 13398).

ESSAI DE DUCTILITE						
Sous-groupe :					Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe du Bitume	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Moyenne Des mesures	Résultat:

Figure II.9: Feuille d'essai Ductilité

II.5. Détermination des points d'éclair et de feu - Méthode Cleveland en vase ouvert:

Cet essai est utilisé pour définir les risques d'inflammation des liants bitumineux en stockage ou en transport et leurs règles de sécurité.

a- But de l'essai :

Détermination des points d'éclair et de feu.

Le point d'éclair représente la température la plus basse à laquelle l'application d'une flamme d'essai provoque l'inflammation des vapeurs émises à la surface du produit pétrolier.

Le point de feu représente la température la plus basse à laquelle l'application d'une flamme d'essai provoque l'inflammation et la combustion du produit.

b- Principe de l'essai :

La prise d'essai est introduite dans le vase jusqu'au niveau indiqué puis chauffée rapidement, au début, ensuite lentement à cadence régulière lorsqu'on se rapproche de la température d'éclair. A intervalles spécifiés de températures, une petite flamme d'essai est passée au dessus du vase. La température la plus basse à laquelle l'application d'une flamme d'essai provoque l'inflammation des vapeurs émises à la surface du liquide est considérée comme le point d'éclair. Pour déterminer le point de feu, l'essai est poursuivi jusqu'à ce que l'application de la flamme provoque l'inflammation de l'huile et la combustion pendant au moins 5 s.

c- Matériel utilisé :

- Appareil Cleveland à vase ouvert comprenant une plaque chauffante, un dispositif de présentation de la flamme d'essai et un support de thermomètre (Figure II.10);
- Thermomètre 400°C à immersion partielle;
- Etuve;
- Baromètre.

d- Mode opératoire :

- Remplir le vase avec le produit bitumineux jusqu'au niveau spécifié.
- Allumer la flamme d'essai et la régler de façon qu'elle ait un diamètre d'environ 4 mm.
- Chauffer d'abord de façon que la vitesse d'accroissement de la température de la prise d'essai soit de 14 à 17°C par min. Lorsque la température de l'échantillon est inférieure d'environ 56°C à celle du point d'éclair présumé, diminuer le chauffage pour que la vitesse d'accroissement de la température, pour les 28°C précédant le point d'éclair, soit de 5 à 6°C par min.
- Présenter la flamme tous les 2°C en la faisant passer par le centre du vase. Le mouvement de la flamme doit être lent et régulier au dessus du vase pendant environ 1 s, dans un plan

horizontal à 2 mm maximum au dessus du plan du bord supérieur du vase d'essai. Pour la présentation suivante de la flamme, la faire passer dans le sens inverse.

- Noter comme point d'éclair la température lue sur le thermomètre lorsqu'un éclair apparaît en un point quelconque de la surface du liquide. A ne pas confondre le véritable éclair avec le halo bleuté qui entoure quelquefois la flamme.
- Pour déterminer le point de feu, continuer à chauffer de façon que la température de la prise d'essai augmente à une vitesse de 5 à 6°C par min. Continuer à présenter la flamme tous les 2°C jusqu'à ce que l'huile s'enflamme et continue à brûler pendant au moins 5s. Noter, à ce moment, la température comme point de feu.



Figure II.10: Appareil Cleveland à vase ouvert

Correction en fonction de la pression barométrique

- Si la pression barométrique durant l'essai est inférieure à 953 mbars, on doit ajouter aux points d'éclair et de feu déterminés les facteurs de correction appropriée, selon le tableau suivant:

Tableau II.4. Corrections des points d'éclair et de feu

Pressions mbars	barométriques	Corrections °C
953 à 887		+ 2
886 à 813		+ 4
813 à 733		+ 6

e- Résultats et commentaires:

Un modèle de la feuille d'essai est présenté sur la figure II.11.

Chaque bitume, d'une classe donnée, a des points d'éclair et de feu spécifiques (Tableau II.4).

ESSAI CLEVELAND					
Sous-groupe :				Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe du Bitume	Point d'éclair (°C)	Point de feu (°C)	Pression barométrique (mbars)	Résultats corrigés: +...°C

Figure II.11: Feuille d'essai Cleveland

II.6. Détermination du temps d'écoulement des bitumes fluidifiés et fluxés - Essai BRTA:

Cet essai est utilisé pour déterminer la viscosité cinématique des bitumes fluidifiés ou fluxés.

a- But de l'essai :

Détermination du temps d'écoulement des bitumes fluxés et fluidifiés en seconde en utilisant un viscosimètre à écoulement.

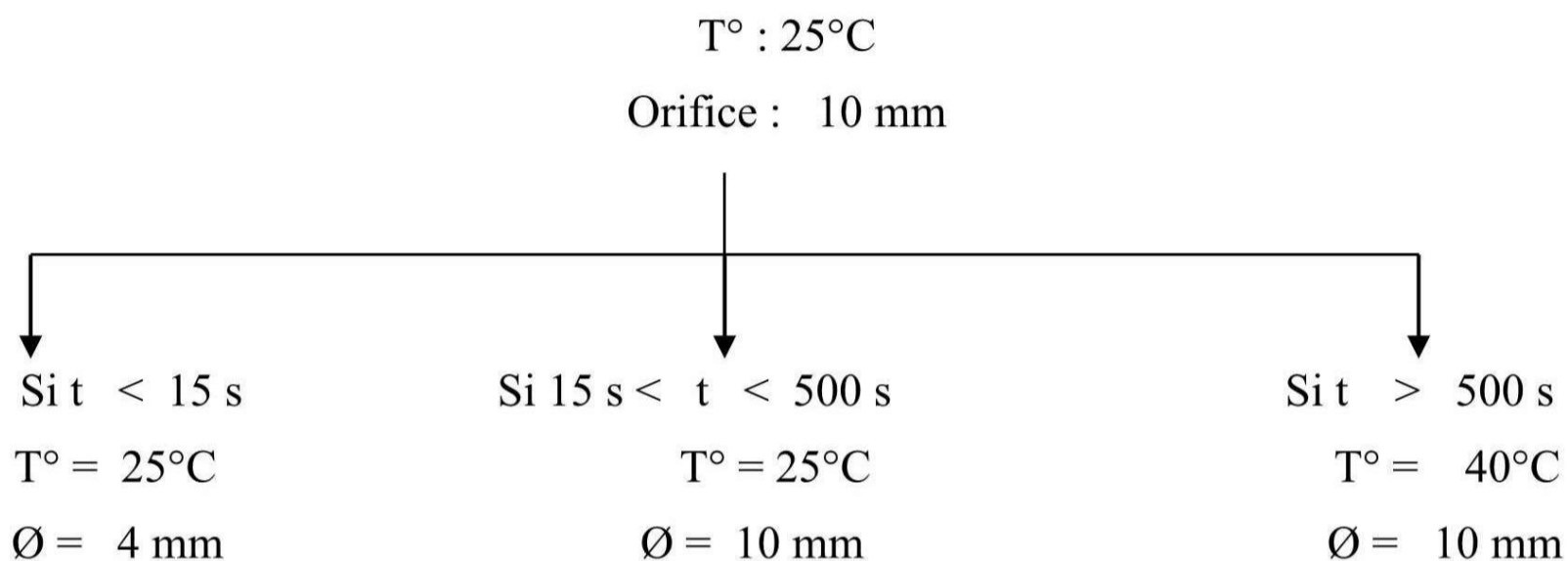
b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à déterminer le temps nécessaire pour l'écoulement d'un volume de 50 ml d'échantillon, à l'aide d'un viscosimètre (BRTA), à travers un orifice de 4 mm ou de 10 mm.

Choix du diamètre de l'orifice du récipient:

- On utilise un récipient de viscosimètre avec un orifice de 10 mm pour les matériaux dont le temps d'écoulement à 25°C dépasse 15 s , et à la T° 40°C pour les matériaux dont le temps d'écoulement à 25°C dépasse 500 s .
- On utilise un récipient de viscosimètre avec un orifice de 4 mm maintenu à 25°C pour les liants dont le temps d'écoulement est inférieur à 15 s à partir du récipient avec un orifice de 10 mm à 25°C.

Si la pseudo-viscosité est inconnue, la mesure est prise à 25°C avec le récipient avec un orifice de 10 mm. En fonction du temps d'écoulement obtenu, trois cas sont possibles.



c- Matériel utilisé :

- Viscosimètre BRTA (Figure II.12);
- Thermomètre;
- Chronomètre;
- Baromètre.



Figure II.12: Viscosimètre BRTA

d- Mode opératoire :

- Nettoyer le récipient du viscosimètre à l'aide d'un solvant.
- Fermer l'orifice du bas avec l'obturateur.
- Remplir le récipient avec l'échantillon préparé jusqu'au niveau indiqué.
- Fermer le récipient.
- Installer le viscosimètre en position horizontal.
- Remplir l'enveloppe du récipient avec de l'eau et régler la T° à 25°C.
- Verser de l'huile minérale légère dans l'éprouvette jusqu'à la graduation de 20 ml et placer l'éprouvette directement au dessous de l'orifice du récipient.
- Relever l'obturateur.
- Démarrer le chronomètre lorsque le liquide dans l'éprouvette atteint la graduation de 25 ml et l'arrêter lorsque le liquide atteint la graduation de 75 ml.

e- Résultats et commentaires:

Enregistrer le temps d'écoulement en secondes, la taille de l'orifice (4 mm ou 10 mm) et la température de l'essai. La figure II.13 représente un modèle de feuille d'essai BRTA.

Les bitumes fluidifiés sont classifiés par leur temps d'écoulement, ainsi on peut se servir du tableau II.5 pour déterminer la classe du liant bitumineux.

ESSAI BRTA					
Sous-groupe :				Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe du Bitume fluidifié	Température d'essai (°C)	Orifice (mm)	Temps d'écoulement (s)	Résultat: Classe du liant

Figure II.13: Feuille d'essai BRTA

Tableau II.5: Caractéristiques des bitumes fluidifiés

Caractéristiques	Unité	Classes				
		0-1	10-15	150-250	400-600	800-1400
Pseudo-viscosité mesurée au viscosimètre BRTA:						
- Orifice 4 mm, à 25°C	s	< 30	-	-	-	-
-Orifice 10 mm, à 25°C	s	-	10 à 15	150 à 250	400 à 600	-
-Orifice 10 mm, à 40°C	s	-	-	-	-	80 à 200
Densité Relative à 25°C (au pycnomètre)	/	0,90 à 1,02	0,90 à 1,02	0,92 à 1,04	0,92 à 1,04	0,92 à 1,04
Distillation fractionnée:						
Fraction distillant au-dessous de :	%	< 9	-	-	-	-
- 190°C	%	10 à 27	< 11	< 3	< 2	< 2
- 225°C	%	30 à 45	16 à 28	6 à 15	5 à 12	3 à 11
- 315°C	%	< 47	< 32	< 20	< 15	< 13
- 360°C	%					
Pénétrabilité à 25°C. 100g. 5s du résidu à 360°C de distillation	1/10 mm	80 à 250	80 à 250	80 à 200	80 à 200	80 à 200

II.7. Distillation fractionnée des bitumes fluidifiés:

Cet essai est utilisé pour vérifier les différentes fractions composant les bitumes fluidifiés.

a- But de l'essai :

Distillation des bitumes fluidifiés.

b- Principe de l'essai :

Les différentes fractions des bitumes formant un produit donné sont obtenus par distillation dans un appareil spécifique (Appareil de distillation fractionnée des bitumes fluidifiés).

c- Matériel utilisé :

- Appareil de distillation des bitumes fluidifiés comprenant essentiellement (Figure II.14): Un ballon à distiller et un réfrigérant.
- Eprovette cylindrique, thermomètre 400°C;



Figure II.14: Appareil de distillation

d- Mode opératoire :

- Peser le ballon vide, puis introduire une prise d'essai de 200 ml (la masse est calculée d'après la densité à 15°C);
- Assembler l'appareil;
- Mettre en marche la plaque chauffante;
- Alimenter en eau le réfrigérant;
- Régler le thermostat (Etalonnage);
- Conduire la distillation à l'allure suivante:
 - o 50 à 60 gouttes par min jusqu'à 260°C;
 - o 20 à 70 gouttes par min entre 260°C et 315°C;
- Noter les volumes de distillat (obtenus dans l'éprouvette) à 190°C, 225°C, 315°C et 360°C.
- Vers 315°C ralentir le chauffage pour ne pas dépasser 360°C. La durée de la distillation de 315°C à 360°C doit être de 10 min au maximum.
- Vers 360°C , arrêter l'essai.

d- Résultats et commentaires:

On compare les fractions obtenues avec celles enregistrées sur la fiche technique du produit (voir tableau II.5).

Un modèle de feuille d'essai "Distillation Fractionnée" est présenté sur la figure II.15.

ESSAI - DISTILLATION FRACTIONNEE							
Sous-groupe :				Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :		
N° Échantillon	Classe du Bitume fluidifié	Volumes des Distillats à :				Cadence de la distillation (Nombre de gouttes/min)	Résultat: Conforme / Non conforme
		190°C	225°C	315°C	360°C		
						T° ≤ 260°C T° > 260°C	

Figure II.15: Feuille d'essai "Distillation Fractionnée des bitumes fluidifiés"

II.8. Détermination de la pseudo-viscosité des émulsions de bitume - Essai Engler:

les produits bitumineux ne se comportent pas de la même manière que les liquides newtoniens, c'est la raison pour laquelle, on utilise le terme de pseudo-viscosité au lieu de viscosité.

a- But de l'essai:

Détermination du temps d'écoulement des émulsions de bitumes en seconde en utilisant le viscosimètre, à écoulement, Engler.

c- Principe de l'essai :

L'essai consiste à déterminer le temps nécessaire pour l'écoulement d'un volume de 200 ml d'échantillon, à l'aide d'un viscosimètre, à travers un orifice de 2,8 mm (essai Engler).

c- Matériel utilisé :

- Viscosimètre Engler (Figure II.16);
- Thermomètre Engler;
- Chronomètre;
- Fiole jaugée à 100 et 200 ml pour essai Engler.



Figure II.16: Viscosimètre Engler

d- Mode opératoire :

Étalonnage de l'appareil

- Installer le viscosimètre en position horizontal.
- Obturer le récipient avec le pointeau
- Verser l'eau distillée à 20°C jusqu'au sommet des trois repères (le niveau doit être réglé avec les trois repères en utilisant une pipette)
- Remplir l'enveloppe du récipient avec de l'eau et régler la Température à 25°C (bain thermostatique).
- Placer la fiole jaugée sous le tube d'écoulement
- Soulever franchement le pointeau et déclencher le chronomètre au moment où la première goutte touche le fond de la fiole.
- Noter le temps t_0 d'écoulement de 200 ml d'eau distillée.

Exécution de l'essai

- Sécher le récipient du viscosimètre à l'aide du papier filtre.
- Fermer l'orifice du bas avec le pointeau
- Remplir le récipient avec l'échantillon préparé jusqu'au niveau indiqué.
- Fermer le récipient.
- Relever l'obturateur.
- Démarrer le chronomètre lorsque la première goutte touche le fond de la fiole. Noter le temps t_1 d'écoulement des 100 premiers millilitres, puis le temps t_2 d'écoulement des 200 ml. Si l'écoulement est régulier, le temps t_2 doit être, à 5 secondes près : $t_2 = t_1 \times 2,353$

e- Résultats et commentaires:

La pseudo – viscosité de l'émulsion, exprimée en degrés Engler, est égale à: t_2/t_0 . Arrondir le résultat à la demi -unité la plus proche.

Un modèle de feuille d'essai Engler est présenté sur la figure II.17.

Les bitumes fluidifiés sont classifiés par leur temps d'écoulement, ainsi on peut se servir du tableau II.5 pour déterminer la classe du liant bitumineux.

ESSAI ENGLER					
Sous-groupe :				Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe de l'émulsion de bitume	Température d'essai (°C)	Etalonnage de l'appareil (t ₀ en s)	Temps d'écoulement (t ₁ et t ₂ en s)	Résultat: t ₂ /t ₀
				t ₁ : s t _{2,mesuré} :s t _{2,calculé} :s Δt ₂ :s	

Figure II.17: Feuille d'essai ENGLER

II.9. Détermination de la teneur en bitume des émulsions:

Il existe plusieurs types d'émulsions de bitume dont la différence réside dans la teneur en bitume, c'est la raison pour laquelle on a recours à la distillation de l'émulsion afin de savoir sa classe ou vérifier la conformité du produit bitumineux par rapport à sa fiche technique.

a- But de l'essai :

Détermination de la teneur en eau dans les émulsion de bitume.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à déterminer la quantité d'eau contenue dans une émulsion par distillation à reflux d'un solvant d'entraînement non miscible à l'eau (méthode azéotropique). L'eau condensée s'accumule dans un tube de recette gradué alors que le solvant d'entraînement retourne dans le ballon.

c- Matériel et produits utilisés :

- Appareillage de distillation (Figure II.18), comprenant le ballon, le tube de recette et le réfrigérant;
- Dispositif de chauffage;
- Balance.
- Granulats anhydres;
- Solvant d'entraînement (Xylène ou Toluene).

d- Mode opératoire :

- Dans le ballon, peser un échantillon de l'émulsion à tester, de quantité suffisante pour obtenir après distillation entre 15 ml et 25 ml d'eau dans le tube de recette.
- Ajouter 100 ml de solvant d'entraînement et quelques granules.
- Assembler l'appareillage et commencer le chauffage du ballon jusqu'à ébullition, puis le régler à raison de 2 à 5 gouttes par seconde.
- Poursuivre le chauffage jusqu'à ce que le volume d'eau reste constant.
- Rincer le réfrigérant avec du solvant d'entraînement à l'aide d'une pissette.
- Mesurer le volume d'eau dans le tube de recette après avoir observé une interface nette entre les deux couches d'eau et de solvant.

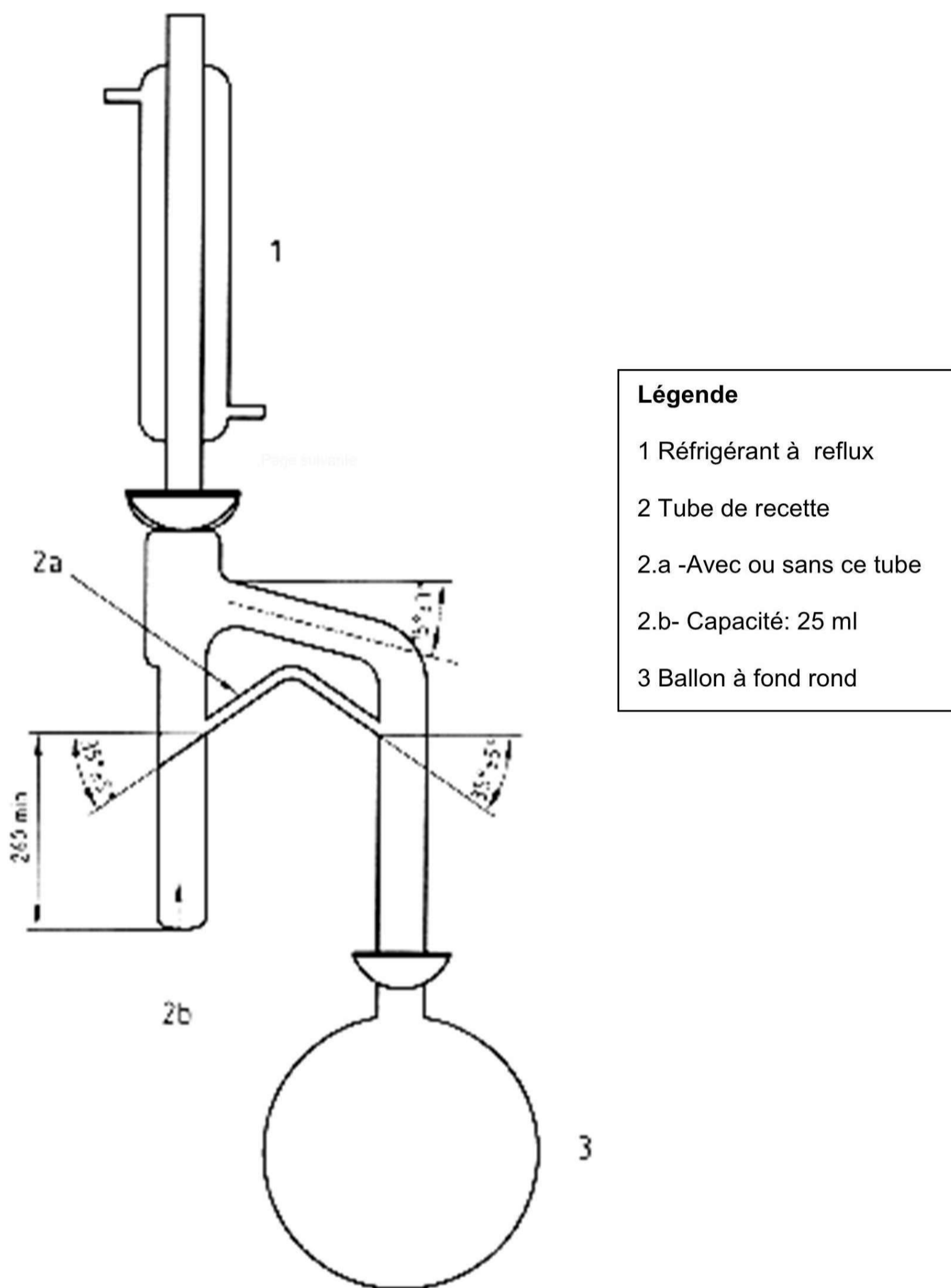


Figure II.18: Appareillage pour la détermination de la teneur en eau des émulsions

e- Résultats et commentaires:

La teneur en eau de l'échantillon testé (w) est exprimée en pourcentage en masse, comme suit: $w(\%) = \frac{m_w}{m_E} \cdot 100$.

Avec, m_w : est la masse d'eau en grammes obtenue par distillation.

m_E : masse de l'échantillon pour essai en grammes.

Le résultat trouvé est comparé à la teneur présumée de l'émulsion pour confirmer sa classe, en cas d'essai d'identification, ou vérifier la classe de l'émulsion s'il s'agit d'un essai de contrôle.

Un modèle de feuille d'essai 'Teneur en eau des émulsions de bitume' est présenté sur la figure II.19.

ESSAI TENEUR EN EAU D'EMULSION				
Sous-groupe :			Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe de l'émulsion de bitume	Masse de l'échantillon d'émulsion (m_E)	Masse de l'eau récupérée par distillation (m_w)	Résultat: teneur en eau de l'émulsion $w(\%) = \frac{m_w}{m_E} \cdot 100$

Figure II.19: Feuille d'essai 'Détermination de la teneur en eau des émulsions'

Bibliographie

R. Peltier 'Manuel du laboratoire routier', Éditions DUNOD, Paris, 1965.

SETRA-LCPC 'Enduits superficiels', Document Technique, Paris, 1984.

Normes utilisées :

NF EN 1426 'Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille', AFNOR, 2007.

NF EN 1427 'Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la Température de ramollissement', AFNOR, 2000.

NF T 66-006 'Pétrole et dérivés - Détermination de la ductilité des produits bitumineux', AFNOR, 1969.

NF EN 13398 'Bitumes et liants bitumineux - Détermination du retour élastique des bitumes modifiés', AFNOR, 2004.

NF EN 12591 'Bitumes et liants bitumineux - Spécifications des bitumes routiers', AFNOR, 1999.

NF EN ISO 2592 'Détermination des points d'éclair et de feu - Méthode Cleveland à vase ouvert', AFNOR, 2001.

NF T 66-020 'Liants hydrocarbonés - Emulsion de bitume - Détermination de la pseudo-viscosité', AFNOR, 1984.

NF EN 13357 'Bitumes et liants bitumineux - Détermination du temps d'écoulement des bitumes fluidifiés et fluxés', AFNOR, 2003.

NF T66-003 'Distillation des bitumes fluidifiés et des bitumes fluxés', AFNOR, 1970.



www.GCAlgerie.com

troisième partie

**ESSAIS SUR LES MELANGES
(GRANULATS-LIANT
HYDROCARBONE)**



www.GCAlgerie.com

III.1.1 Généralités

Les liants hydrocarbonés sont utilisés dans la construction routière pour former deux types de structures de chaussée: Les revêtements et les enrobés bitumineux.

II.1.1. Les revêtements:

Les revêtements, appelés aussi enduits superficiels, nécessitent un bon support homogène. Ce type de structure est utilisé pour des routes à faible trafic et dans les agglomérations. Le revêtement consiste à répandre un bitume très fluidifié sur le support de chaussée (cut-back 0/1), puis une couche de bitume fluidifié (400/600), ensuite répandage des granulats (gravillonnage) et enfin un léger cylindrage.

Il existe 3 principaux types d'enduits superficiels:

- Enduit superficiel Monocouche à simple gravillonnage (8/15) et à double gravillonnage (8/15 et 3/8);
- Enduit superficiel bicouche (8/15 et 3/8);
- Enduit superficiel tricouche (15/25, 8/15 et 3/8).

les principaux essais concernant les enduits superficiels sont :

- Essai d'adhésivité (essai Vialit);
- Contrôle de dosage en gravillons et en bitume fluidifié (au moment de mise en œuvre).

III.1.2. Les Enrobés:

Les enrobés bitumineux à chaud sont fabriqués par mélange à chaud des gravillons, de sable avec ou sans fines, de filler et de liant bitumineux, au niveau d'une station d'enrobage, ensuite mis en œuvre en utilisant un finisseur et enfin compactage mécanique. Le pourcentage du liant est de 4% à 8% de la masse des granulats. Il existe également des enrobés très résistants, appelés enrobés à module élevé EME, dans lesquels on utilise des bitumes modifiés, des additifs et des granulats de haute résistance.

Il existe aussi des enrobés à froid dans lesquels on utilise des émulsions de bitume pur ou modifié.

Il y a deux types d'enrobés bitumineux à chaud:

- Béton bitumineux de structure semi-grenue (0/15) réalisé en couche de roulement;
- Grave bitume de structure grenue (0/25) réalisée en couche de base, et éventuellement en couche de fondation.

Les principaux essais réalisés sur les enrobés bitumineux sont: L'essai Duriez, l'essai Marshall et l'essai de teneur en liant (essai d'extraction de bitume).

III.2. Essai Vialit d'adhésivité à la plaque des liants anhydres

Cet essai permet de tester l'adhésivité des liants hydrocarbonés anhydres aux granulats utilisés dans la composition des enduits superficiels.

a- But de l'essai :

Détermination de l'adhésivité du liant, c'est à dire sa capacité de fixer les granulats secs (adhésivité globale) ou humides (adhésivité active).

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à répandre le liant sur une plaque, puis les granulats en passant le cylindre. On fait tomber 3 fois une bille d'acier sur la plaque retournée et posée sur un support à 3 points. L'adhésivité est donnée par la proportion des granulats tachés (collés ou décollés).

c- Matériel utilisé :

- Appareil Vialit comprenant (figure III.1): Plaques en acier doux avec rebord d'une hauteur comprise entre 2 et 3 mm, une bille d'acier, une potence et un cylindre à bandage caoutchouc.
- Etuve;
- Enceinte climatique



Figure III.1: Appareillage pour essai Vialit

c- Mode opératoire :

Préparation du liant

- Chauffer le liant pour atteindre la température de répannage dans un récipient clos pendant 3 Heures. La température est indiquée dans le tableau III.1.

Tableau III.1. Température de répannage des liants

Liant	Température de répannage sur la plaque (°C)
Bitumes fluidifiés	
400/600	125 ± 5
800/1400	135 ± 5
Bitumes fluxés	
400/600	130 ± 5
800/1600	140 ± 5
1600/3200	150 ± 5
Bitumes Purs	
35/50	155 ± 2
50/70	150 ± 2
70/100	140 ± 2
180/220	145 ± 2

Préparation des granulats

On utilise 100 gravillons pour le 6/10 et 50 pour le 10/14.

- Cas de l'essai sur granulats secs:

Les gravillons sont séchés en atmosphère ventilée à 50°C ± 5°C pendant 24H.

- Cas de l'essai sur granulats humides:

Les gravillons sont placés dans un panier en tôle perforée puis conservés pendant 24H à 5°C dans une enceinte climatique réglée à une hygrométrie supérieure à 90%.

Exécution de l'essai

- Préchauffer la plaque à la température de 50°C ± 5°C.
- Etaler le liant préparé à la température de répannage sur la plaque. On doit obtenir une épaisseur de 1mm pour les gravillons 6/10 et de 1,3mm pour les gravillons 10/14.

- Répandre les granulats sur la plaque en les laissant tomber.
- Effectuer 3 passes de cylindre dans un sens, puis 3 dans l'autre (pendant 2 min au Maximum).
- Conserver la plaque ainsi préparée à la température de $5^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{c}$ pendant 20 min.
- Poser la plaque sur les trois pointes, les granulats se trouvent à la partie inférieure.
- Lâcher la bille dans la glissière 3 fois en moins de 10 s.
- Retourner la plaque.
- Déterminer par rapport au nombre de gravillons de départ :
 - Le % de gravillons décollés non tachés par le liant : a
 - Le % de gravillons décollés tachés par le liant : b
 - Le % de gravillons collés : c
 - Le % de gravillons collés non tachés par le liant : d

e- Résultats et calcul :

L'adhésivité : $b + c - d$.

Un modèle de feuille d'essai est présenté sur la figure III.2.

f- Commentaires :

L'adhésivité liant-granulats par l'essai à la plaque VIALIT doit être supérieure ou égale à : 90% dans le cas de l'adhésivité globale;

60% dans le cas de l'adhésivité active.

ESSAI VIALIT						
Sous-groupe :					Provenance de l'échantillon	Date de l'essai :
N° Échantillon	Classe Granulaire:	Nbre de gravillons décollés		Nbre de gravillons collés	Nbre de gravillons collés	Adhésivité Globale: b + c -d
	Nbre de gravillons	Non Tachés: a en %	Tachés: b en %	c en %		

Figure III.2: Feuille d'essai Vialit

III.3. Essai DURIEZ

Cet essai permet de vérifier la tenue à l'eau d'un enrobé bitumineux.

a- But de l'essai :

Cet essai a pour but de déterminer le rapport entre la résistance à la compression après immersion (r) et celle après conservation sans immersion (R) à 18°C.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à préparer des éprouvettes par compactage statique à double effet, puis à les soumettre à un essai de compression après conservation à 18°C dans des conditions différentes; certaines à l'air et d'autres en immersion. Deux autres éprouvettes sont destinées à la mesure de la masse volumique par pesée hydrostatique pour calculer le pourcentage de vides.

c- Matériel utilisé:

- Moules et pistons (figure III.3):
- Pour mélanges hydrocarbonés de $D < 14$ mm: Un minimum de 12 moules métalliques cylindriques de diamètre intérieur 80,0 mm et de hauteur minimale 190 mm et des pistons de diamètre extérieur minimal de 79,75 mm.
- Pour mélanges hydrocarbonés de $D \geq 14$ mm : Un minimum de 10 moules métalliques cylindriques de diamètre intérieur 120,0 mm et de hauteur minimale 270 mm et des pistons de diamètre extérieur minimal de 119,75 mm.
- Presse permettant le compactage à double effet et le maintien :
- d'une charge de $60 \text{ kN} \pm 0,5 \%$ pendant 5 min sur chaque éprouvette pour les mélanges hydrocarbonés de $D < 14$ mm ;
- d'une charge de $180 \text{ kN} \pm 0,5 \%$ pendant 5 min sur chaque éprouvette pour les mélanges hydrocarbonés de $D \geq 14$ mm.
- Balance hydrostatique, Thermomètre, Etuve.

d- Mode opératoire :

Préparation des éprouvettes

Les températures de préparation des éprouvettes de mélanges à Base de bitume pur sont définies comme suit :

- Bitume 80/100 : $140^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$
- Bitume 60/70 : $150^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$
- Bitume 40/50 : $160^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$
- Bitume 20/30 : $180^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$.

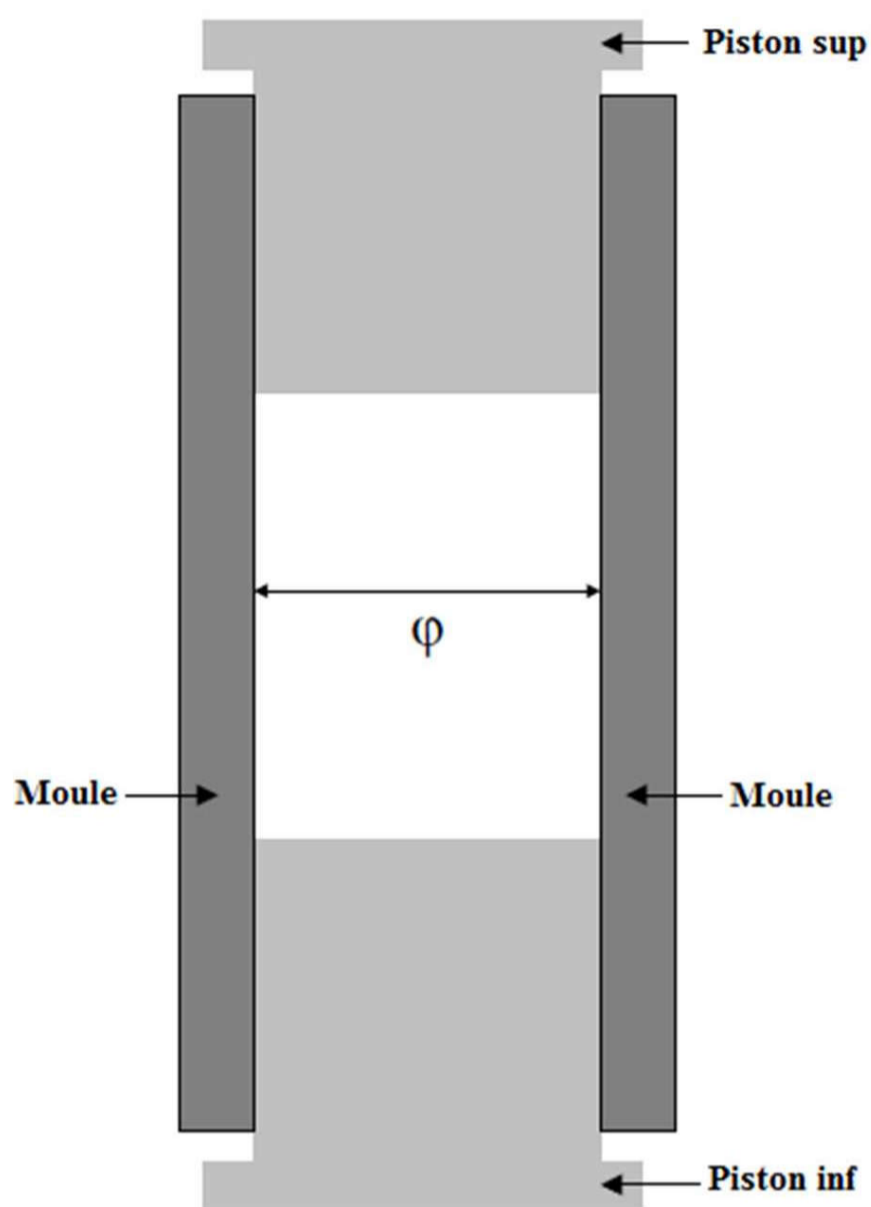


Figure III.3: Schéma du moule

Les éprouvettes ont les masses suivantes :

- 1 000 g \pm 2 g dans le cas des mélanges hydrocarbonés de $D < 14$ mm ;
- 3 500 g \pm 4 g dans le cas des mélanges hydrocarbonés de $D \geq 14$ mm.

Un piston est placé à la partie inférieure du moule. Le prélèvement est introduit en une seule fois dans le moule très légèrement enduit d'oléate de soude glycérimé.

Les moules pleins sont ensuite introduits dans une étuve dont la température à proximité est à la température de référence ; ils doivent y séjourner entre ½ h et 2 h.

Un piston est placé à la partie supérieure du moule. Le compactage des éprouvettes doit être réalisé par double effet, la charge appliquée est :

60 kN \pm 0,5 % pour les mélanges hydrocarbonés de $D < 14$ mm;

180 kN \pm 0,5 % pour les mélanges hydrocarbonés de $D \geq 14$ mm.

La charge doit être atteinte entre 5 s et 60 s maximum et maintenue entre 300 s et 305 s. Au bout de ce temps, la mise en charge est interrompue.

Les éprouvettes sont conservées couchées dans leur moule au minimum 4 h jusqu'à retour à la température ambiante, puis elles sont démoulées.

Après démoulage, les éprouvettes numérotées sont pesées à 1 g près, soit M . La hauteur h et le diamètre ϕ sont mesurés à 0,1 mm près, sur trois zones différentes. On calcule ensuite la masse volumique apparente MVa à partir des mesures géométriques. Si la MVa d'une éprouvette s'éloigne de la moyenne de $\pm 1 \%$, elle est rejetée. Si la MVa de plusieurs éprouvettes s'en éloigne, la série complète est rejetée.

Jusqu'au jour $J + 1$, les éprouvettes sont conservées debout à température ambiante (15 °C à 25 °C) sur une surface plane.

Les éprouvettes sont réparties comme suit:

Deux éprouvettes sont destinées à la mesure des masses volumiques apparentes hydrostatiques ;

Cinq éprouvettes sont destinées à la conservation sans immersion dans le cas des mélanges hydrocarbonés de $D < 14$ mm, quatre dans le cas de ceux de $D \geq 14$ mm.

Les éprouvettes restantes sont destinées à la conservation en immersion.

Conservation des éprouvettes:

Conservation sans immersion: J étant le jour de confection des éprouvettes, on commence la conservation sans immersion au jour $J + 1$. Les éprouvettes sont conservées à $18 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$ et dans une ambiance à $50 \text{ \%} \pm 10 \text{ \%}$ d'humidité relative pendant 7 j.

Conservation avec immersion: Pour les essais réalisés à 18 °C , les éprouvettes sont soumises à un traitement de dégazage à $J + 1$. Pendant $1 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$, les éprouvettes, lavées rapidement, sont soumises à une pression résiduelle de $47 \text{ kPa} \pm 5 \text{ \%}$. Ensuite, l'eau est introduite jusqu'à immersion complète des éprouvettes tout en maintenant la pression résiduelle de $47 \text{ kPa} \pm 5 \text{ \%}$. Les éprouvettes sont maintenues immergées pendant 2 h sous la même pression. À la fin de cette opération, les éprouvettes sont essuyées légèrement et pesées, soit M_{J+1} .

Après la pesée précédente, les éprouvettes sont immergées dans de l'eau à $18 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$ jusqu'à $J + 8$. Les éprouvettes sont pesées, après essuyage rapide à $J + 8$ et éventuellement à $J + 3$ ou $J + 5$, soit M_{J+8} , M_{J+3} , M_{J+5} .

Les éprouvettes sont remises en conservation au moins deux heures avant de subir les essais mécaniques.

Essais de compression simple:

Les éprouvettes (à $J+8$) sont soumises à l'essai de compression simple. La résistance à la compression est le rapport de la charge maximale à la section circulaire de l'éprouvette.

e- Résultats et calcul :

On calcule le rapport de la résistance avec immersion r à la résistance sans immersion R .

On calcule, après, le pourcentage d'imbibition:

$$W_{j+1+k} (\%) = 100 \cdot \left[\frac{M_{j+1+k} - M}{M} \right]$$

Le pourcentage des vides est: $v(\%) = 100 \cdot \left[1 - \frac{MVA}{MVR} \right]$

La masse volumique du granulat dans l'éprouvette:

$$MVA_g = MVA \left[1 - \frac{TL}{100 + TL} \right], \text{ TL étant le teneur en liant.}$$

Le pourcentage des vides occupés par l'air et le liant:

$$V_{MA} (\%) = 100 \cdot \left[\frac{MVR_g - MVA_g}{MVR_g} \right]$$

Le pourcentage des vides comblés par le liant: $V_L (\%) = 100 \cdot \left[\frac{V_{MA} \% - V \%}{V_{MA} \%} \right]$

La feuille d'essai est présentée sur la figure III.4.

f- Commentaires :

Le rapport r/R doit être supérieur ou égale à 0,7 afin d'avoir un enrobé qui a une bonne tenue à l'eau.

le pourcentage des vides doit être compris entre 3 et 5 %.

ESSAI DURIEZ											
Sous-groupe :		Classe du Bitume:		Teneur en liant de l'enrobé (TL):		D < 14 mm ou D ≥14mm		Provenance de l'échantillon :		Date de l'essai :	
N° Éprouvette											
Poids des éprouvettes (g)											
Hauteur des éprouvettes (mm)											
Moy des hauteurs											
Diamètre des éprouvettes (mm)											
Moy des diamètres											
Volumes des éprouvettes ($\pi R^2 H$ en cm^3)											
MVa (g/cm^3)											
MVA par pesée hydrostatique											
MVR (g/cm^3)											
% des vides V											
R en MPa											
r en MPa											
Rapport r/R											

Figure III.4: Feuille d'essai Duriez

III.4. Essai Marshall

Cet essai permet de donner des indications sur la formulation d'un enrobé bitumineux.

a- But de l'essai :

Cet essai a pour but de déterminer, pour une température et un mode de compactage donné, le pourcentage de vides, la stabilité et le fluage dits MARSHALL d'un mélange hydrocarboné à chaud (GB ; GRAVE Bitume ou BB ; Béton bitumineux) t.q . $D \leq 20$ mm.

c- Principe de l'essai :

L'essai consiste à compacter des éprouvettes par dommage selon un processus déterminé, puis à les soumettre à un essai de compression suivant une génératrice dans des conditions bien définies.

c- Matériel utilisé (Figure III.5):

- Moules;
- Dame MARSHALL;
- Presse MARSHALL;
- Bain thermostatique, Balance hydrostatique, Thermomètre, Etuve.



Figure III.5: Appareillage pour essai Marshall

d- Mode opératoire :

Préparation de l'échantillon

L'échantillon peut être préparé au laboratoire comme il peut être ramené à partir du chantier (lors de la mise en œuvre). Les températures de préparation des éprouvettes de mélanges à Base de bitume pur sont définies comme suit :

- Bitume 80/100 : $140^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$
- Bitume 60/70 : $150^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$
- Bitume 40/50 : $160^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$
- Bitume 20/30 : $180^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$.

Détermination préalable de la masse des éprouvettes

La masse des éprouvettes est déterminée par confection d'une éprouvette témoin d'une masse indicative de 1200 g, compactée dans les mêmes conditions que les éprouvettes d'essai.

La masse m correspondant à une éprouvette de hauteur théorique de 63,5 mm est calculée.

Remplissage des moules et compactage :

Peser la quantité 1200 g de mélange à 0,1 près. Placer un disque de papier au fond du moule et placer la hausse du moule, ensuite introduire le mélange en une seule fois dans le moule légèrement enduit d'oléate de soude glycéro. Enfin, mettre en place, à la surface supérieure, un disque de papier.

Les moules sont remplis successivement. Un des moules sera fixé sur le socle de la dame MARSHALL, les autres seront placées à l'étuve à la température de référence.

La dame étant maintenue perpendiculaire au moule, le mélange est compacté en appliquant 50 coups de marteau de la dame en 55 ± 5 s.

Le moule est retourné afin de présenter la face inférieure de l'éprouvette à un compactage identique.

La durée de compactage ne doit pas excéder 3 min. L'éprouvette n° 02 est compactée 5 min \pm 1 min après l'éprouvette n° 01 et ainsi de suite.

Le moule est placé, pendant au moins 15 min, sous un jet circulaire d'eau froide en évitant de mouiller l'éprouvette. Le moule est conservé 1h au moins à la température ambiante avant démoulage. Le démoulage est effectué en faisant passer l'éprouvette du moule dans la hausse à l'aide du piston extracteur. Les éprouvettes sont conservées 5h au moins à température ambiante après leur compactage.

Pour chaque éprouvette, la moyenne des six mesures de hauteur doit être comprise entre 62,5 et 65 mm.

Essais de stabilité et de fluage MARSHALL:

Les éprouvettes et les mâchoires d'écrasement sont immergées dans l'eau à $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ pendant $30 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$.

L'éprouvette est placée dans les mâchoires d'écrasement. L'ensemble est porté entre les plateaux de la presse pour être soumis à l'essai de compression.

La stabilité MARSHALL est la valeur de la charge maximale à la rupture de l'éprouvette.

Le fluage MARSHALL est la valeur de l'affaissement de l'éprouvette, selon son diamètre vertical, au moment de la rupture.

e- Résultats et calcul :

La stabilité MARSHALL est exprimée en déca newtons est représentée la moyenne des résultats d'au moins trois éprouvettes.

Le fluage MARSHALL, exprimé en dixièmes de millimètre, représente la moyenne d'affaissement d'au moins 3 éprouvettes.

Le pourcentage des vides est : $v(\%) = 100 \cdot \left[1 - \frac{MVA}{MVR} \right]$.

Avec: MVA: Masse volumique apparente de l'éprouvette par pesée hydrostatique en g/cm^3 .

MVR: Masse volumique réelle du mélange hydrocarboné en g/cm^3 .

La feuille d'essai est présentée sur la figure III.6.

f- Commentaires :

La stabilité Marshall requise pour les enrobés doit être supérieure ou égale à 9000 Newtons (900 daN) afin d'avoir un enrobé qui résiste à l'orniérage. Quant au fluage Marshall, il ne doit pas dépasser 4 mm.

le pourcentage des vides doit être compris entre 3 et 5 %.

ESSAI MARSHALL									
Sous-groupe :					Classe du Bitume:	Provenance de l'échantillon :	Date de l'essai :		
					Température:				
N° Éprouvette	Masse de l'éprouvette	Hauteur moy de l'éprouvette H (mm)	Vérification $65 \leq H \leq 65.5$	MVA à partir de ϕ et H	MVA par pesée hydrostatique	Stabilité Marshall (daN)	Fluage Marshall (1/10 mm)	% des vides	

Figure III.6: Feuille d'essai Marshall

III.5. Essai de Détermination de la teneur en liant d'un enrobé -Méthode d'extraction à chaud - Essai Kumagawa:

Cet essai permet de vérifier le dosage en liant d'un enrobé bitumineux par extraction du bitume à chaud. Il existe d'autres méthodes d'extraction du bitume à froid, telles que la méthode de centrifugation ou la méthode de Rouen.

a- But de l'essai :

Détermination de la teneur en liant et la teneur en eau d'un matériau bitumineux.

b-Principe de l'essai :

Le bitume contenu dans le matériau enrobé est extrait par dissolution à chaud dans du toluène ou du xylène (solvant) au cours d'une distillation sous reflux. Le solvant forme avec

l'eau un mélange qui est retenu dans un décanteur. Le poids du liant est obtenu par différence entre le poids initial du matériau et le poids des granulats extraits.

c- Matériel et produits utilisés:

- Extracteur kumagawa (Figure III.7), comprenant un chauffe ballon, un ballon en verre, un décanteur et un réfrigérant.
- Solvant;
- Balance électronique.



Figure III.7: Appareil Kumagawa

d- Mode opératoire :

Préparation de l'échantillon

L'échantillon est prélevé à partir du chantier, c'est à dire derrière un finisseur.

Exécution de l'essai

- Peser la cartouche séchée, soit P_1 son poids;
- Introduire dans la cartouche la quantité de matériau bitumineux et peser l'ensemble, soit P_2 . Le poids de l'enrobé est $P_E = P_2 - P_1$;
- Remplir le ballon jusqu'à la moitié avec le toluène, placer la cartouche dans son panier et l'introduire dans le ballon;
- Monter le décanteur et le collier de serrage, adapter le réfrigérant est l'alimenter en eau;

- Brancher le chauffe – ballon;
- Lorsque on observe un écoulement clair du solvant , on arrête l'extraction jusqu'à égouttage total de la cartouche, puis remettre en fonctionnement. l'extraction est terminée lorsque le solvant coule à nouveau clair;
- Arrêter le chauffage, prendre le quantité d'eau.
- Laisser refroidir l'appareil et égoutter la cartouche, retirer la cartouche de l'appareil et la placer dans une étuve ventilée à 120 °C jusqu'à obtention d'un volume constant, soit P_3 le poids du granulat extrait : $P_g = P_3 - P_1$.

Correction des fines

Une partie des fines traverse la cartouche et se retrouve dans la solution du liant. Il est nécessaire de procéder à sa récupération soit par filtration, soit par calcination. Soit P_f : le poids des fines obtenu.

Analyse granulométrique

Ouvrir la cartouche, bien la brosser, puis réunir les particules minérales ainsi obtenus aux granulats extraits. Ajouter le poids P_f et faire une analyse granulométrique.

Remarque :

Les nouvelles cartouches sont étanches et peuvent retenir les fines, donc cette fraction est contenue dans les granulats (P_g).

e- Résultats et calcul :

P_E : Poids de l'enrobé ; P_{eau} : Poids de l'eau

P_g : Poids des granulats ; P_f : Poids de fines

$$\text{Teneur du liant par rapport à l'enrobé : } \frac{P_E - (P_g + P_{Eau} + P_f)}{P_E} \cdot 100$$

$$\text{Teneur en liant par rapport aux granulats : } \frac{P_E - (P_g + P_{Eau} + P_f)}{P_g + P_f} \cdot 100$$

$$\text{Teneur en eau par rapport à l'enrobé : } \frac{P_{Eau}}{P_E} \cdot 100$$

$$\text{Teneur en eau par rapport aux granulats: } \frac{P_{Eau}}{P_g + P_f} \cdot 100$$

La feuille d'essai est représentée sur la figure III.8.

f- Commentaires :

Cet essai est un test de contrôle d'enrobé, ainsi la teneur en liant doit correspondre à celle fixée lors de la formulation de l'enrobé au laboratoire.

ESSAI KUMAGAWA									
Sous-groupe :						Provenance de l'échantill. :	Date de l'essai :		
Échan t. N°	Poids cartouche vide : P_1	Poids cartouche + échantillon : P_2	Quantité d'eau : P_{eau}	Poids des fines P_f	Poids cartouche + échantillon après séchage: P_3	Teneur en liant par rapport à :		Teneur en eau par rapport à :	
						L'enrobé	Aux granulats	L'enrobé	Aux granulats
			P_{eau} :	P_f :	P_3 :				
					$P_g =$ $P_3 + P_f - P_1$:				
					P_3 :				
					$P_g =$ $P_3 + P_f - P_1$:				
					P_3 :				
					$P_g =$ $P_3 + P_f - P_1$:				
					P_3 :				
					$P_g =$ $P_3 + P_f - P_1$:				

Figure III.8: Feuille d'essai Kumagawa

Bibliographie

R. Peltier 'Manuel du laboratoire routier', Éditions DUNOD, Paris, 1965.

Normes utilisées :

NF P 98-274-1 'Caractéristiques des enduits superficiels d'usure - Essai Vialit d'adhésivité à la plaque des liants ', AFNOR, 1994.

NF P 98-250-1 'Essais relatifs aux chaussées - Préparation des mélanges hydrocarbonés - Partie 1: Fabrication d'un enrobé en laboratoire', AFNOR, 1992.

NF P 98-251-1 'Essais relatifs aux chaussées - Essais statiques sur mélanges hydrocarbonés Partie 1: Essai DURIEZ sur mélanges hydrocarbonés à chaud, AFNOR, 1992.

NF P 98-251-2 'Essais relatifs aux chaussées - Essais statiques sur mélanges hydrocarbonés Partie 2: Essai Marshall', AFNOR, 1992.

LCPC-REC 2 'Méthode Kumagawa - Détermination de la teneur en liant d'un enrobé bitumineux par extraction à chaud.



www.GCAlgerie.com

Sommaire

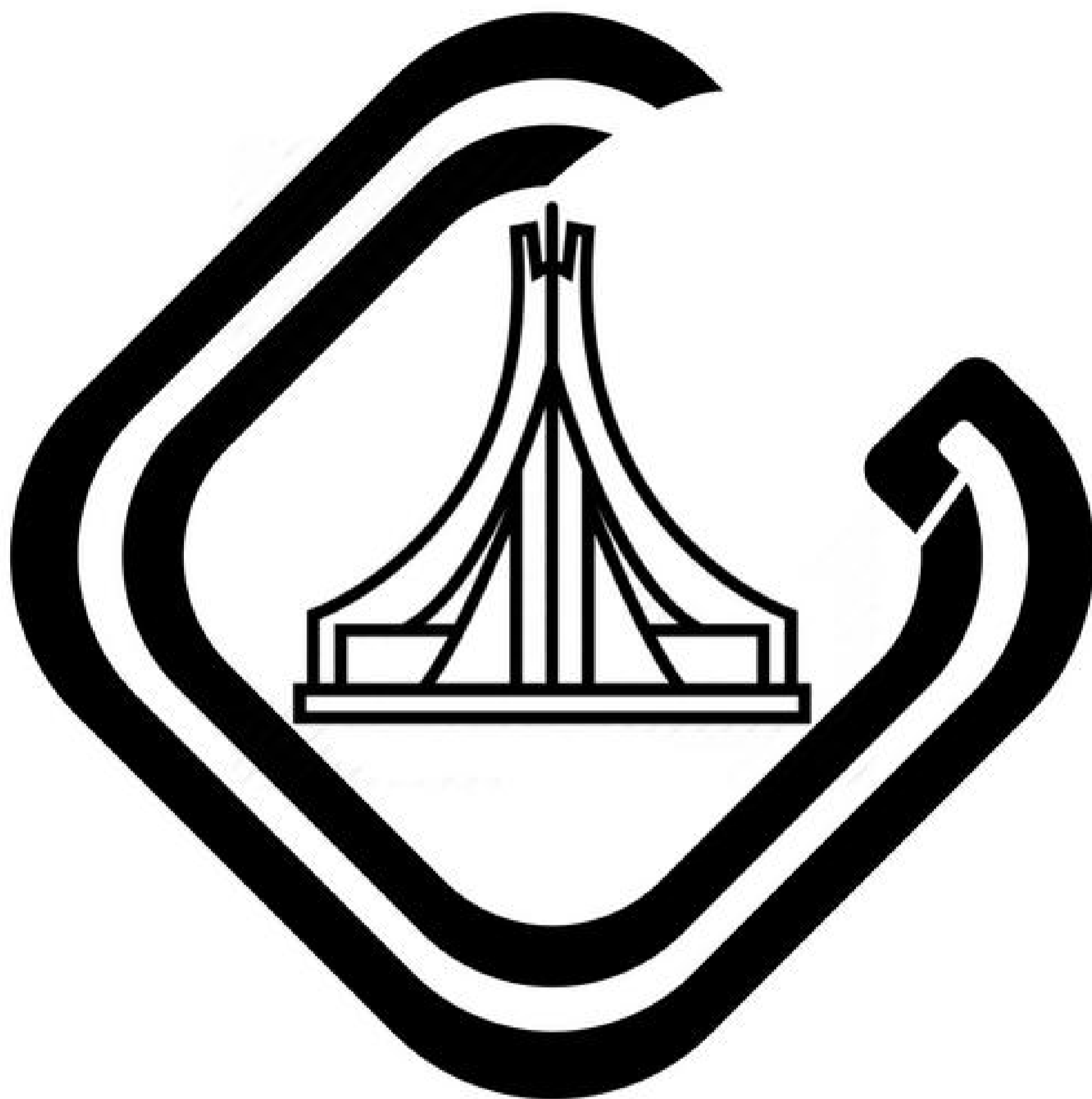
Avant-propos	3
Introduction Générale	5
PREMIERE PARTIE	
Essais sur Granulats	
I.1. Généralités	9
I.2. Résistance à la fragmentation	9
I.2.1. Essai Los Angeles	9
I.2.2. Essai de Fragmentation Dynamique	13
I.3. Résistance à l'usure	
I.3.1. Essai Micro Deval	19
I.3.2. Essai Deval	24
I.3.3. Essai de friabilité des sables	
28	
I.4. Essai de Polissage accéléré 'CPA'	31
* Références Bibliographiques	39
DEUXIEME PARTIE	
Essais sur Liants hydrocarbonés	
II.1. Généralités	43
II.1.1. Les goudrons :	43
II.1.2. Les bitumes:	44
II.1.3 Essais réalisés sur les bitumes et dérivés	46
II.1.3.1. Essais à effectuer sur les bitumes durs	46
II.1.3.2. Essais à effectuer sur les bitumes fluidifiés et fluxés	47
II.1.3.2. Essais à effectuer sur les émulsions de bitume	47
II.2. Essai de pénétrabilité à l'aiguille	47
II.3. Essai Bille - Anneau:	50
II.4. Essai de Ductilité:	53
II.5. Détermination des points d'éclair et de feu - Méthode Cleveland en vase ouvert:	55

II.6. Détermination du temps d'écoulement des bitumes fluidifiés et fluxés - Essai BRTA:	57
II.7. Distillation fractionnée des bitumes fluidifiés:	61
II.8. Détermination de la pseudo-viscosité des émulsions de bitume - Essai Engler:	63
II.9. Détermination de la teneur en bitume des émulsions:	66
* Références Bibliographiques	69

Troisième Partie

Essais sur les mélanges (granulats-liant hydrocarboné)

III.1. Généralités	73
III.1.1. Les revêtements:	73
III.1.2. Les Enrobés:	73
III.2. Essai Vialit d'adhésivité à la plaque des liants anhydres	74
III.3. Essai Duriez	77
III.4. Essai Marshall	82
III.5. Essai de Détermination de la teneur en liant en enrobé -Méthode d'extraction à chaud - Essai Kumagawa:	85
* Références Bibliographiques	89



www.GCAlgerie.com

Achevé d'imprimer sur les presses de

L'OFFICE DES PUBLICATIONS

UNIVERSITAIRES