

Chapitre IV - Les matériaux routiers

PLAN

Introduction

- 1- Les liants routiers
 - 1.1- Les liants hydrocarbonés
 - 1.2- Les liants hydrauliques

- 11- Les matériaux d'assise de chaussées
 - 11.1- Les matériaux non traités
 - 11.2- Les matériaux traités aux liants hydrauliques
 - 11.3- Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

- 111- Les matériaux utilisés en couche surface
 - 111.1- Les enduits superficiels
 - 111.2- Les enrobés denses
 - 111.3- Les bétons bitumineux

Chapitre IV - Les matériaux routiers

INTRODUCTION

- **Projet routier = consommation importante de matériaux**
- **Exigences sur les performances mécaniques des matériaux**
- **Modèles de calcul imposent aussi la connaissance et la maîtrise de certaines propriétés mécaniques (module, caractéristiques en fatigue...) des matériaux**

Chapitre IV - Les matériaux routiers

I. Les liants routiers

Les liants hydrocarbonés

Deux grandes catégories:

- **Les goudrons (de moins en moins utilisés)**
- **Les bitumes:**
 - **Bitumes naturels:** résidus d'anciens gisements de pétrole
 - **Asphalte naturel:** roche calcaire imprégnée d'hydrocarbures
 - **Bitume de pétrole :** distillation du pétrole brut

Chapitre IV - Les matériaux routiers

I. Les liants routiers

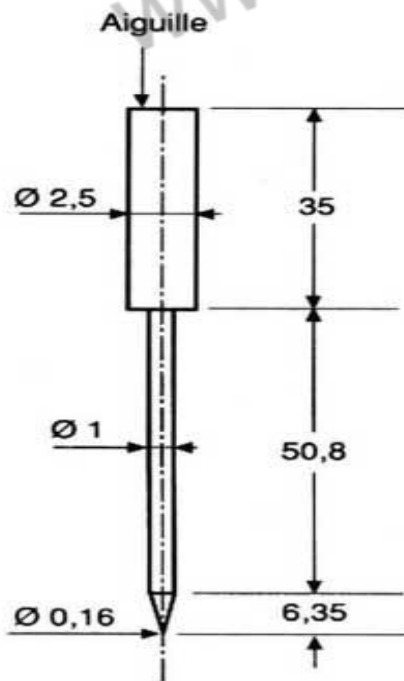
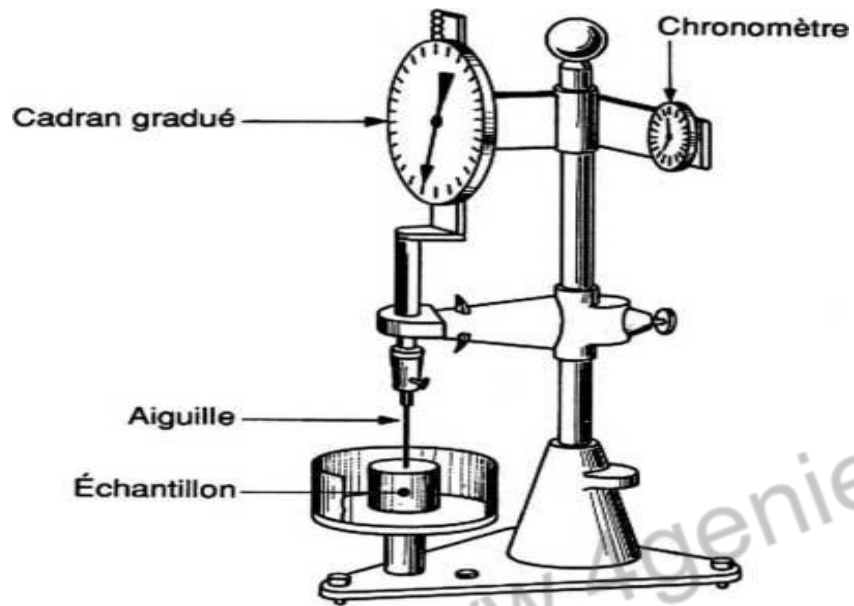
Les liants hydrocarbonés

Caractéristiques des bitumes:

- La pénétrabilité

« C'est la profondeur d'enfoncement, exprimée en dixièmes de millimètre, d'une aiguille normalisée, de 1 mm de diamètre, sous une charge de 100 g, appliquée pendant 5 s à 25°C ».

Cinq classes : 180-220, 80-100, 60-70, 40-50, 20-30.



Les cotes sont en millimètres

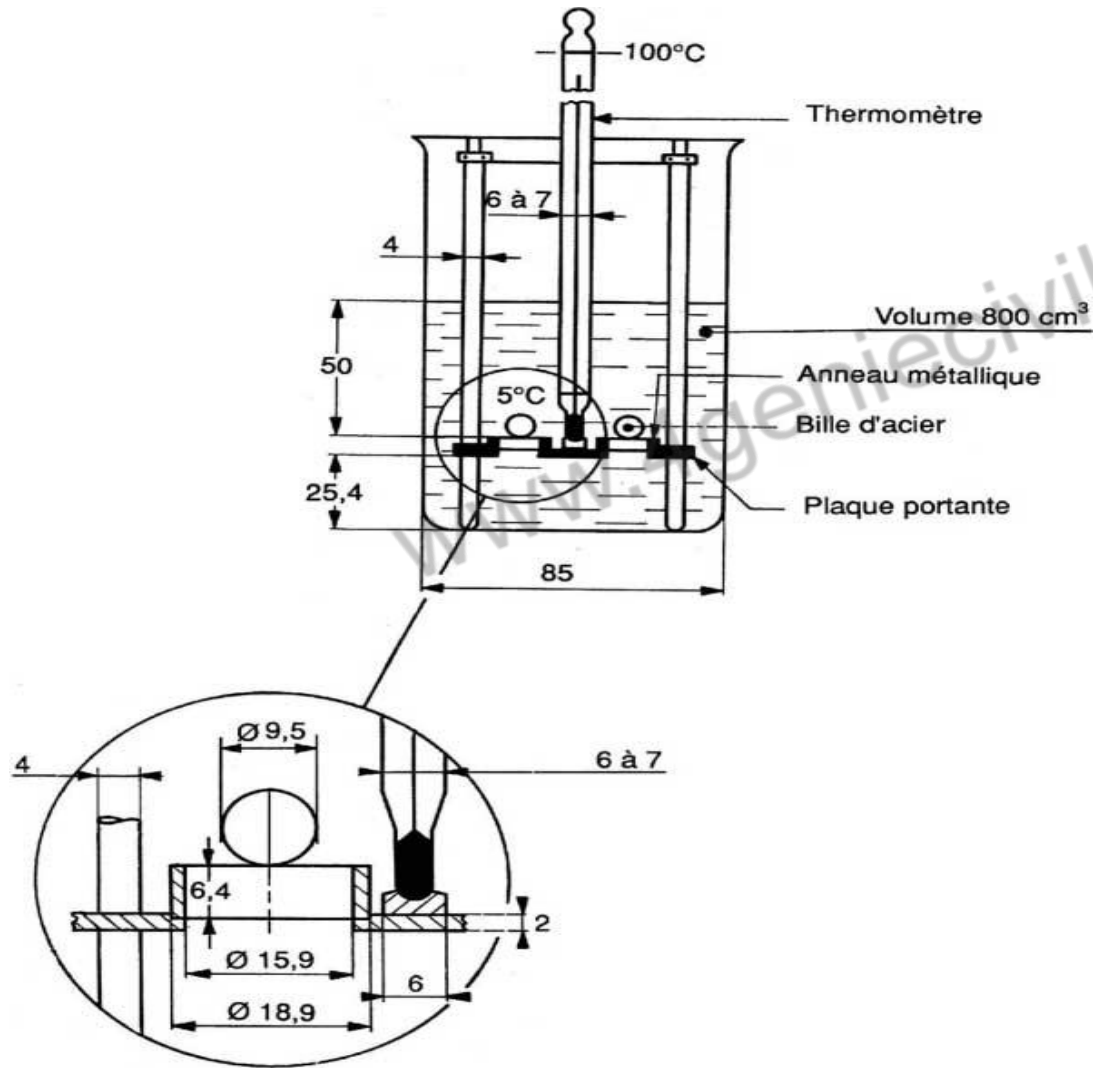
Chapitre IV - Les matériaux routiers

I. Les liants routiers

Les liants hydrocarbonés

Caractéristiques des bitumes:

- La température bille anneau
- Repère de changement de consistance, : point de ramollissement appelé également température bille et anneau (*TBA*)
- L'essai est réalisé au moyen d'une bille d'acier de 3,5 g placée sur un disque de bitume coulé dans un anneau de 15,9 mm de diamètre. L'ensemble est placé dans un bain d'eau chauffé à vitesse constante. Sous l'effet du poids de la bille et de la température, le bitume flue. Quand la poche ainsi créée touche le plateau inférieur de l'équipage, on note la température atteinte qui caractérise le point de ramollissement (*TBA*).



Les cotes sont en millimètres

Chapitre IV - Les matériaux routiers

I. Les liants routiers

Les liants hydrocarbonés

Les bitumes fluidifiés et fluxés

Pour des raisons de commodité de la mise en œuvre, il peut être nécessaire de faire baisser la viscosité des bitumes à faible température:

Comment?:

- Utilisation de diluants
- Mise en émulsion dans de l'eau
- **Bitume fluxé** : le diluant est une huile de houille provenant de la distillation du goudron brut.
- **Bitume fluidifié** : le diluant est une fraction légère issue du pétrole (essence, kérosène, gasoil).
 - SC (slow curring)
 - MC (medium curring)
 - RC (rapid curring)

Chapitre IV - Les matériaux routiers

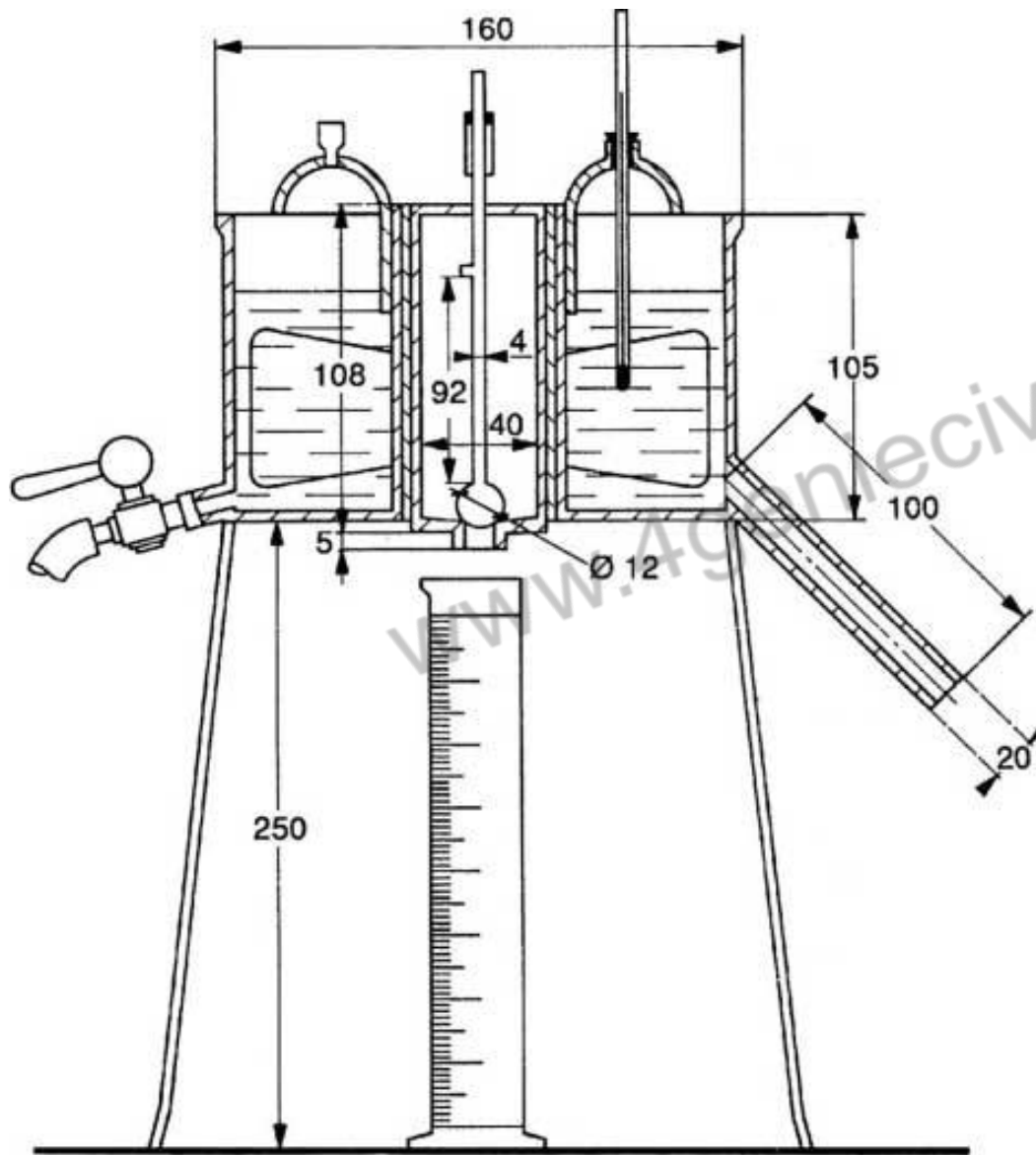
I. Les liants routiers

Les liants hydrocarbonés

Les bitumes fluidifiés et fluxés

Principales caractéristiques:

- **Pseudoviscosité:** caractéristique de la viscosité:
 - Viscosimètre STV ou BRTA
 - Mesure du temps d'écoulement de 50 cm³ de bitume dans un orifice de 10 ou 4mm à une température constante de 25 ou 40 °C.
- **Distillation fractionnée:** mesure de la fraction distillant au dessous de 190, 215, 290 et 360°C
- bitumes fluidifiés : 0-1, 10-15, 150-250, 400-600, 800-1400.
- bitumes fluxés : 400-600, 800-1200, 1200-1600, 1600-2400.



Les cotes sont en millimètres

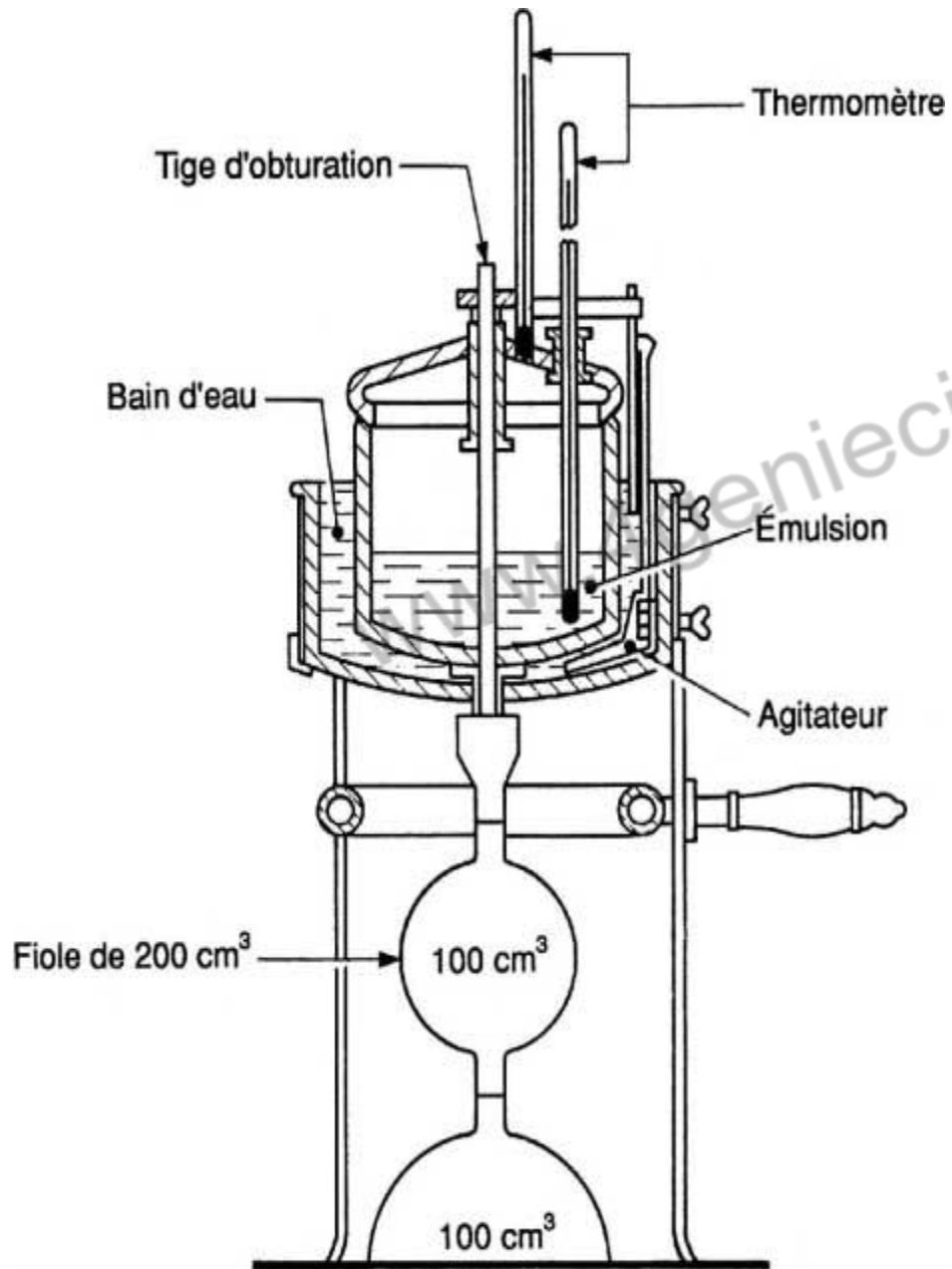
Chapitre IV - Les matériaux routiers

I. Les liants routiers

Les liants hydrocarbonés

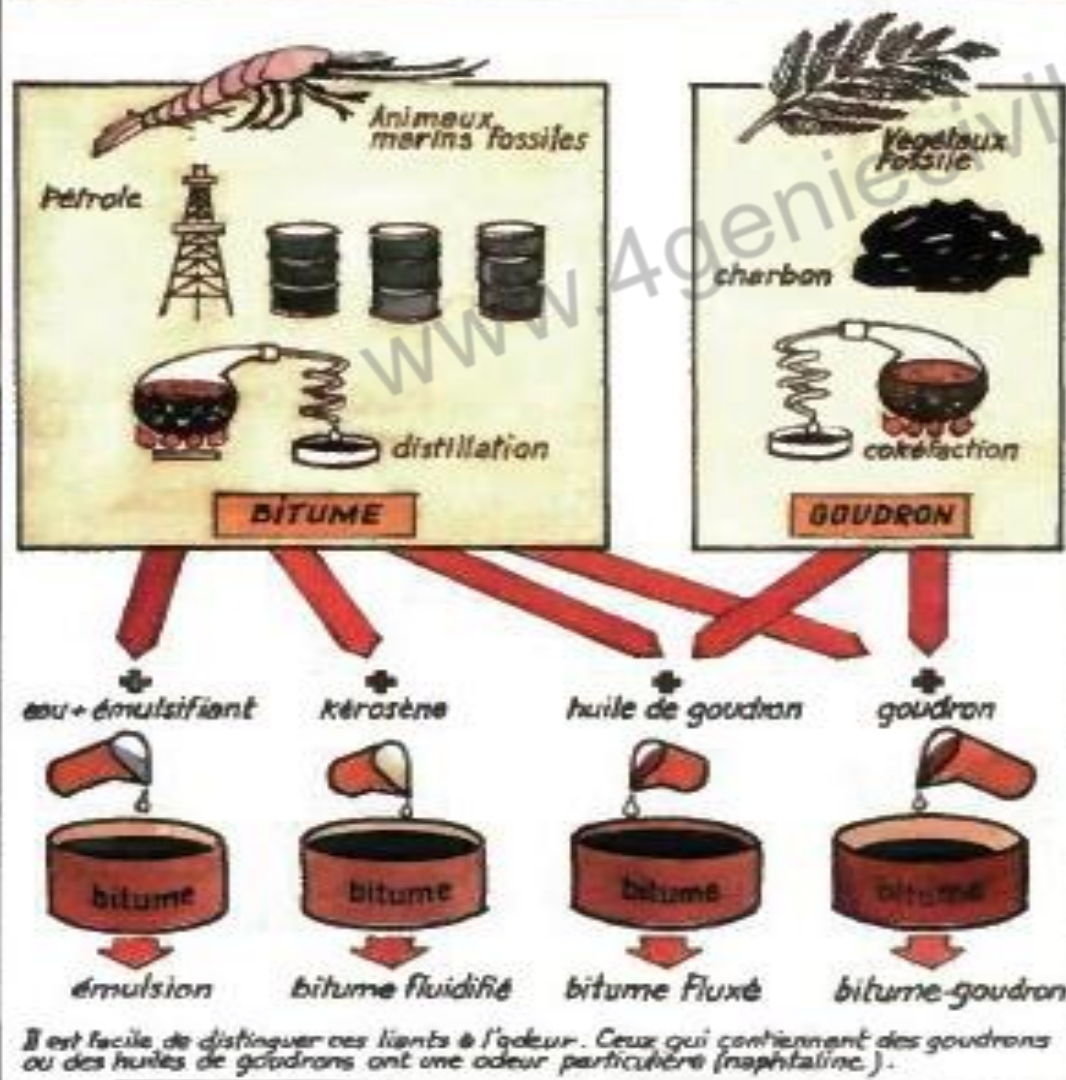
Les émulsions de bitume

- Mélange de bitume, d'eau et d'agents émulsifiants
- Dispersion dans de l'eau de fines gouttelettes de bitume
- **Emulsions anioniques** convenant beaucoup plus avec les granulats portants des charges positives
- **Emulsions cationiques** convenant beaucoup plus avec les granulats portants des charges négatives
- **Caractérisés par:**
 - Teneur en eau et pH
 - Pseudoviscosité (viscosimètre Engler)



LES LIANTS NOIRS OU LIANTS HYDROCARBONES SONT :

- LES BITUMES OBTENUS PAR DISTILLATION DES PÉTROLES.
- LES GOUDRONS OBTENUS À PARTIR DE LA HOUILLE.
(ILS NE SONT PLUS BEAUCOUP UTILISÉS ACTUELLEMENT).



Chapitre IV - Les matériaux routiers

I. Les liants routiers

Les liants hydrauliques

Ils sont composés généralement de fines (de couleur blanche ou grise selon les produits) dont les propriétés chimiques permettent une prise en présence d'eau.

- **Les ciments** : mélanges d'argile et de calcaire chauffés à haute température, qui après cuisson sont réduits en poudre
- **Les laitiers** : obtenus lors de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux

Chapitre IV - Les matériaux routiers

I. Les liants routiers

Les liants hydrauliques

- **Les cendres volantes** : recueillis dans les fumées des centrales thermiques fabriquant de l'électricité à partir de la combustion du charbon
- **Les pouzzolanes** sont des cendres volcaniques naturelles obtenues après broyage
- **Les chaux grasses** : obtenues par cuisson de calcaire pur

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les sables naturels

Les sables sont des sols dont la dimension maximale exprimée en passoire est inférieure ou égale à 6.3mm, ayant un pourcentage de fines (passant au tamis de 80 μ m) inférieur à 35 %.

- utilisés en couche de fondation pour des trafics T1, T2 et exceptionnellement pour un trafic T3
- Une valeur minimale de CBR égale 30 est généralement requise
- Possibilité d'amélioration des SN par:
 - Adjonction d'un concassé
 - Adjonction d'un liant hydraulique
 - Adjonction d'un liant hydrocarboné

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les sables naturels

| Propriétés | Valeurs |
|------------------------------------|--|
| CBR | > 30 pour T ₁ > 35 pour T ₂ |
| % de fines (passant au tamis 80µm) | 10 < f < 30 |
| IP | ≤ 15 |
| C _u | ≥ 5 |
| γ _d (à 95 % de l'OPM) | ≥ 1.80 |
| f x IP | 100 < (f x IP) < 500 |
| w _{opt} (%) | 7 < w _{opt} < 13 (%) |
| Gonflement maximal | 2.5 |

Tableau A1.1 : Spécifications sur les sables naturels [CEBTP]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

« Une grave non traitée est un mélange à granulométrie continue de cailloux, graviers et sable avec généralement une certaine proportion de particules fines. » [5].

Elles sont caractérisées par:

- **la granularité:** la dimension de D et courbe granulométrique
 - CB: D doit être limitée à 14 ou 20 mm
 - CF: D doit être limité à 20 ou 31.5 mm
 - Une réduction de D réduit les risques de ségrégation et améliore l'uni de surface.
 - Granulo permet quant à elle de juger de l'aptitude au compactage et d'apprécier la cohésion et la sensibilité de la grave aux variations hydriques (pourcentage de fines)

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

- **l'angularité : Concourt à la stabilité des couches**
 - Pour un granulat de roche massive, elle est égale à 100 %
 - Pour un granulat d'origine alluvionnaire, elle est définie par deux données :
 - l'indice de concassage IC: proportion en poids d'éléments supérieurs à la dimension D du granulat élaboré
 - le rapport de concassage RC , rapport entre d du matériau soumis au concassage et D du granulat obtenu

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

- **la forme des granulats:**
 - Elle contribue à la stabilité et à la compacité des couches
 - S'apprécie par le coefficient d'aplatissement (A) qui mesure la proportion d'éléments tels que $G/E > 1.58$
- **la propreté : ES et VBS**
- **la dureté: LA et MDE**

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

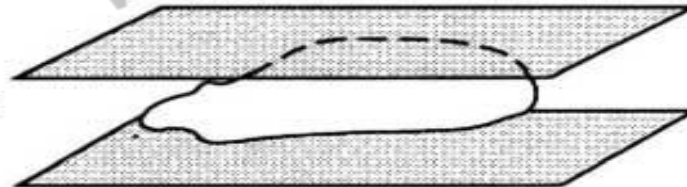
Les graves non traitées

Grosueur G



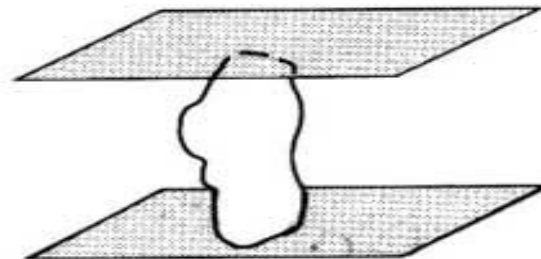
La grosueur est le diamètre d'un anneau, le plus petit possible, dans lequel le granulat peut passer.

Épaisseur E



L'épaisseur est la distance entre deux plans parallèles, le plus rapprochés possible l'un de l'autre, qui peuvent enserrer le granulat.

Longueur L



La longueur est la distance entre deux plans parallèles, le plus éloignés possible l'un de l'autre, qui peuvent enserrer le granulat.

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

Mesure du coefficient d'aplatissement:

- Mesurer le pourcentage d'éléments tels que:

$$\frac{G}{E} > 1,58$$

| | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|-------|-------|---------|-------|------|-------|-------|-----|
| Classe granulaires d/D (mm) | 31,5/40 | 25/31,5 | 20/25 | 16/20 | 12,5/16 | 10/12 | 8/10 | 6,3/8 | 5/6,3 | 4/5 |
| Ecartement E des grilles à fentes (mm) | 20 | 16 | 12,5 | 10 | 8 | 6,3 | 5 | 4 | 3,15 | 2,5 |

$$A = \frac{\sum_i M_{ei}}{\sum_i M_{gi}}$$

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

Mesure du coefficient d'aplatissement:



Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Mesure du coefficient d'aplatissement:

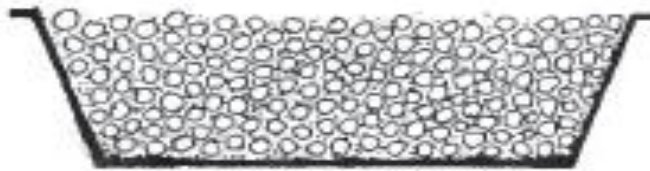
| Détermination du coefficient d'aplatissement | | | | |
|---|--------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Tamisage sur tamis | | Tamisage sur grille | | |
| Classes granulaires d/D (mm) | M_{gi} (g) | Ecartement des grilles (mm) | Passant M_{ei} (g) | $A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} 100$ |
| 31,5/40 | | 20 | | |
| 25/31,5 | | 16 | | |
| 10/25 | | 12,5 | | |
| 16/20 | | 10 | | |
| 12,5/16 | | 8 | | |
| 10/12,5 | | 6,3 | | |
| 8/10 | | 5 | | |
| 6,3/8 | | 4 | | |
| 5/6,3 | | 3,15 | | |
| 4/5 | | 2,5 | | |
| $M = \sum M_{gi} =$ _____ | | $\sum M_{ei} =$ _____ | | |
| $M_0 =$ _____ | | | | |
| $A = \frac{\sum_j M_{ei}}{\sum_i M_{gi}} 100 =$ | | | | |

Chapitre IV - Les matériaux routiers

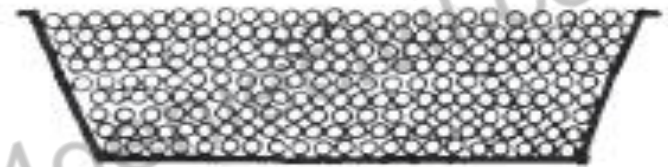
II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

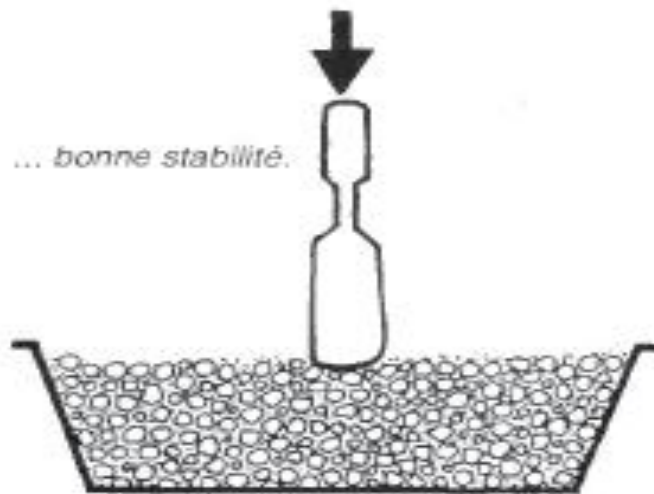
Les graves non traitées



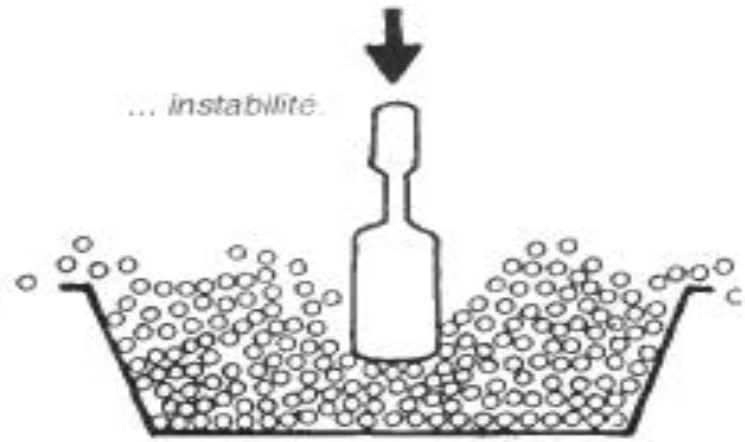
Bonne courbe, formes anguleuses...



Mauvaises courbe, formes arrondies...



... bonne stabilité.



... instabilité.

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

Essai Los Angeles : résistance à la fragmentation

- Placer dans un cylindre à axe horizontal de 70 cm de diamètre et 50 cm de longueur les granulats à essayer et des boules d'acier
- Effectuer 500 révolutions à 30 tr/min
- Après essai, les matériaux sont criblés au tamis de maille 1,6 mm et le poids de la fraction passante est rapporté au poids de la prise d'essai.
- Le rapport, multiplié par 100, est appelé coefficient Los Angeles (LA)

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

Essai Los Angeles : résistance à la fragmentation



Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

Essai MDE : résistance à l'usure

- Réalisé sur les classes granulaires 4/6, 6/10 et 6/14.
- Le cylindre 20 cm de diamètre et 15,4 cm de longueur.
- Aux 500 g de gravillons de la prise d'essai, on ajoute une charge abrasive constituée de billes d'acier sphériques de 10 mm de diamètre.
- Le cylindre tourne à 100 tr/min pendant 2 h.
- Si p est la fraction passant au tamis de 2 mm, le coefficient Microdeval est égal à :
$$MD = 100 \frac{p}{500}$$
- Pour l'essai Microdeval humide (MDE) on rajoute 2,5 L d'eau dans le cylindre d'essai

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

Essai MDE : résistance à l'usure



Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

| Tableau 2 – Classement des granulats selon la norme P 18-101 | | | |
|--|----------|------|------|
| Catégorie | LA + MDE | LA | MDE |
| A | ≤ 25 | ≤ 20 | ≤ 15 |
| B | ≤ 35 | ≤ 25 | ≤ 20 |
| C | ≤ 45 | ≤ 30 | ≤ 25 |
| D | ≤ 55 | ≤ 35 | ≤ 30 |
| E | ≤ 80 | ≤ 45 | ≤ 45 |
| F | > 80 | > 45 | > 45 |

Lorsque la catégorie F est retenue, les limites supérieures doivent obligatoirement être fixées.

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

| Spécifications | Fondation | Base |
|----------------|---|---|
| LA | < 50 | < 40 |
| MDE | < 30 | < 25 |
| C _u | > 10 | > 12 |
| % de fines | 2 < f < 15 si IP ≠ 0 4 < f < 5 si IP = 0 | 2 < f < 15 si IP ≠ 0 4 < f < 5 si IP = 0 |
| IP | < 12 | < 6 |

Tableau A2.1 : Spécifications sur les graves naturelles [CEBTP]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

| Tamis (mm) | % passant | |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 0/31.5 | 0/40 |
| 40 | 100 | 95 - 100 |
| 31.5 | 80 - 100 | 85 - 97 |
| 20 | 65 - 90 | 65 - 90 |
| 10 | 40 - 75 | 40 - 75 |
| 5 | 30 - 60 | 30 - 63 |
| 2 | 20 - 45 | 20 - 45 |
| 1 | 15 - 37 | |
| 0.5 | 10 - 20 | 12 - 30 |
| 0.08 | 2 - 15 si IP ≠ 0 4 - 5 si IP = 0 | 2 - 15 si IP ≠ 0 4 - 5 si IP = 0 |

Tableau A2.2 : Fuseaux granulaires pour les graves naturelles [CEBTP]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

| PL/j/voie | ES | | LA | | MDE | |
|-----------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | Fondation | Base | Fondation | Base | Fondation | Base |
| < 25 | > 40 | > 40 | < 30 | < 40 | < 25 | < 35 |
| 25 à 150 | > 50 | > 50 | < 25 | < 30 | < 20 | < 25 |
| > 150 | | > 50 | | < 25 | | < 20 |

Valeurs minimales de ES, LA et MDE pour les GNT et GRH [5]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graves non traitées

| Tamis (mm) | % passant | |
|------------|------------------|------------------|
| | 0/31.5 | 0/40 |
| 50 | | 100 |
| 40 | 100 | 95 - 100 |
| 31.5 | 95 - 100 | 85 - 97 |
| 20 | 64 - 90 | 65 - 90 |
| 10 | 40 - 70 | 40 - 75 |
| 6.3 | 30 - 60 | 30 - 63 |
| 2 | 20 - 42 | 20 - 45 |
| 0.5 | 10 - 26 | 12 - 30 |
| 0.08 | 2 - 10 | 4-12 |
| | 4 - 10 si IP = 0 | 4 - 10 si IP = 0 |

La valeur de l'indice de plasticité doit être inférieure à 6 ($IP < 6$)

$IC > 80$ pour une utilisation en couche de base

$IC > 60$ pour une utilisation en couche de fondation

Fuseaux granulaires pour les GNT/GRH [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graveleux latéritiques

- Sans doute le matériau routier le plus disponible et le plus utilisé au Sénégal et dans la sous-région.
- Les latérites peuvent être considérées:
 - *« comme des roches sédimentaires par le fait qu'elles résultent d'une accumulation et d'une cimentation de roches transportées ou existant sur place... »*
 - *« comme des roches métamorphiques en ce sens qu'elles résultent d'un processus d'altération de roches mères silico-alumineuses en climat tropical ...[16] »*

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graveleux latéritiques

- En général, pour leur utilisation comme matériaux d'assise, les latérites doivent avoir :
 - un CBR ≥ 30 en couche de fondation
 - un CBR ≥ 80 pour la couche de base
- Pour des trafic intenses, les latérites crues peuvent subir un traitement:
 - soit par adjonction d'une frange granulaire 0/D ou d/D (lithostabilisation)
 - soit par ajout d'un liant hydraulique (latérite-ciment)

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graveleux latéritiques

| Spécifications | Fondation | Base |
|-------------------------------|---|---|
| Dimension maximale | $\leq 60\text{mm}$ | $\leq 50\text{mm}$ |
| % de fines | $5 \leq f \leq 35$ | $4 \leq f \leq 20$ |
| C_u | ≤ 30 | ≤ 20 |
| IP | ≤ 20 pour T3 – T4 – T5 ≤ 35 pour T1 – T2 | ≤ 18 pour T5 ≤ 20 pour T3 – T4 ≤ 22 pour T1 – T2 |
| γ_d (à 95 % de l'OPM) | ≥ 1.90 à 2 | ≥ 2.1 |
| Teneur en matières organiques | $\leq 1.5 \%$ | $\leq 1 \%$ |
| CBR (à 95 % de l'OPM) | > 30 > 35 pour T4 – T5 | > 80 > 60 pour T1 |
| Gonflement linéaire | Entre 1 et 2% | $\leq 1\%$ |
| Épaisseur minimale | 15 cm | 15 cm |

Spécifications sur les graveleux latéritiques crus [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graveleux latéritiques

| Tamis (mm) | % passant | |
|------------|-----------|----------|
| | Fondation | Base |
| 40 | 100 | 95 - 100 |
| 31.5 | 80 - 100 | 85 - 100 |
| 20 | 75 - 90 | 60 - 100 |
| 10 | 58 - 100 | 35 - 90 |
| 5 | 40 - 78 | 20 - 75 |
| 2 | 28 - 65 | 12 - 50 |
| 1 | 22 - 56 | 10 - 40 |
| 0.5 | 18 - 50 | 7 - 35 |
| 0.08 | 5-35 | 4 - 20 |

Fuseau granulaires sur les graveleux latéritiques crus après compactage [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graveleux latéritiques

| Spécifications | Graveleux latéritiques utilisés | Matériaux d'ajout (20 à 50% du poids) | |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| | | Grave 0/31.5 | Grave concassée de calcaire |
| % passant au tamis 40mm | 100 | - | - |
| % passant au tamis 2mm | 20 à 50 | < 30 | < 30 |
| % de fines | 10 à 25 | < 18 | < 18 |
| IP | < 20 | 0 | 0 |
| γ_d (à 95 % de l'OPM) | - | ≥ 2.2 | ≥ 2.2 |
| CBR (à 95 % de l'OPM) | 40 à 60 | > 80 | > 80 |
| ES | > 50 | > 50 | > 50 |
| LA | < 30 | < 30 | < 12 |
| MDE | - | - | < 30 |
| ACV | - | - | < 25 |

Spécifications sur les graveleux latéritiques améliorés aux concassés [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux non traités

Les graveleux latéritiques

| Tamis (mm) | % passant | |
|------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| | Grave 0/31.5 (basalte ou silexite) | Grave concassée de calcaire |
| 40 | 100 | 100 |
| 31.5 | 95 - 100 | 85 - 100 |
| 20 | 64 - 90 | 62 - 90 |
| 10 | 40 - 70 | 35 - 62 |
| 5 | 30 - 60 | 20 - 50 |
| 2 | 20 - 42 | 19 - 43 |
| 1 | - | 14 - 43 |
| 0.5 | 10 - 26 | 3 - 14 |
| 0.08 | 2 - 10 | 2 - 10 |

Fuseaux granulaires pour les graveleux latéritiques améliorés aux concassés [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graves traités aux liants hydrauliques

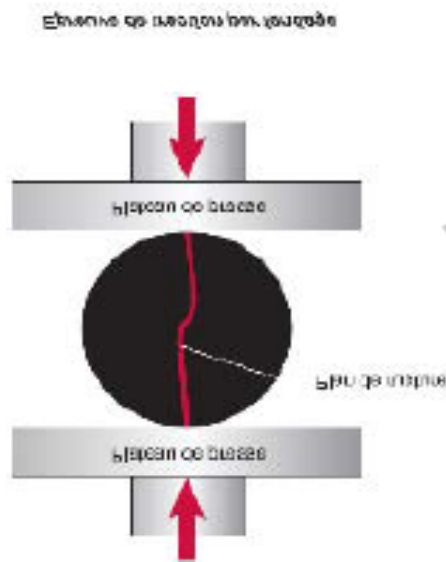
- Développement de la prise est progressif et ils se comportent initialement comme des GNT
- Granularité, angularité, forme, dureté et propreté doivent être satisfaisantes
- Caractérisées principalement à partir de :
 - essai Proctor modifié ;
 - essai de traction direct LCPC :
 - la résistance en traction R_t
 - module sécant E_t à 30 % de la charge de rupture
 - IQE

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graves traités aux liants hydrauliques



$$R_{1t} = \frac{2F_r}{\pi HD}$$



$$R_t = \frac{4F_r}{\pi D^2}$$

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graves traitées aux liants hydrauliques

| Type de liants | Dosage pondéral par rapport au mélange sec grave + liant |
|--|---|
| Laitier granulé | 8 à 20 % suivant réactivité des laitiers et nature de l'activant de prise |
| Laitier (granulé ou bouleté) prébroyé | 8 à 15 % |
| Ciments | 3 à 5 % |
| Liants spéciaux à usage routier | 3.5 à 5 % |
| Cendres hydrauliques | 3.5 à 4 % |
| Cendres volantes-chaux | 10 à 15 % |
| Pouzzolanes-chaux (reconstitués en centrale) | 15 à 25 % suivant la classe des pouzzolanes et la nature pétrographique de la grave |

Dosages en liants moyens admissibles [5]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graves traitées aux liants hydrauliques

| Type de grave traitée | IQE (cm) | R _{t,360} (MPa) | E _{t,360} (10 ³ MPa) |
|--|----------|--------------------------|--|
| Grave - laitier granulé Grave -pouzzolane-chaux | 23 à 24 | ≥ 0.65 | ≤ 20 |
| Grave - laitier prébroyé | 23 à 22 | ≥ 0.80 | ≤ 25 |
| Grave - ciments normalisées - liants spéciaux - cendres hydrauliques | 20 à 26 | ≥ 1.10 | ≤ 40 |
| Grave - cendres volantes - chaux | 18 à 23 | ≥ 1.40 | ≤ 45 |

Performances à un an des graves traitées [5]

| Trafic | Poids lourds / jour (véh./jour) | Caractéristiques | Couche de fondation | Couche de base et renforcement |
|-------------|------------------------------------|------------------|---------------------|-----------------------------------|
| T3 et moins | < 25 (< 500) | LA | ≤ 40 | ≤ 40 |
| | | MDE | ≤ 35 | ≤ 35 |
| | | ES | ≥ 30 | ≥ 30 |
| T3 | 25 à 150 (500 à 3000) | IC | ≥ 30 | ≥ 30 |
| | | LA | ≤ 40 | ≤ 30 |
| | | MDE | ≤ 35 | ≤ 25 |
| | | ES | ≥ 30 | ≥ 40 |
| T2 | 150 à 300 (3000 à 6000) | IC | ≥ 30 | ≥ 60 |
| | | LA | ≤ 40 | ≤ 30 |
| | | MDE | ≤ 35 | ≤ 25 |
| | | ES | ≥ 30 | ≥ 40 |
| T1 et T0 | > 300 (> 6000) | IC | ≥ 30 | 100 |
| | | LA | ≤ 40 | ≤ 30 |
| | | MDE | ≤ 35 | ≤ 25 |
| | | ES | ≥ 30 | ≥ 40 |

IC : indice de concassage (en %)=proportion en poids d'éléments supérieurs à la dimension D du granulat élaboré

MDE : Microdeval humide

LA : Coefficient de Los Angeles

ES : équivalent de sable

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graves traitées aux liants hydrauliques

| Tamis (mm) | % passant | | | | | |
|------------|------------|--------|---------|--------------|--------|---------|
| | Grave 0/20 | | | Grave 0/31.5 | | |
| | minima | maxima | moyenne | minima | maxima | moyenne |
| 31.5 | - | - | - | 85 | - | - |
| 20 | 85 | - | - | 62 | 88 | 75 |
| 10 | 52 | 78 | 65 | 40 | 66 | 53 |
| 6.3 | 40 | 64 | 52 | 31 | 55 | 43 |
| 4 | 32 | 56 | 44 | 25 | 48 | 37 |
| 2 | 25 | 45 | 35 | 20 | 40 | 30 |
| 0.5 | 12 | 26 | 20 | 9 | 24 | 16 |
| 0.2 | 6 | 16 | 11 | 4 | 16 | 10 |
| 0.08 | 2 | 6 | 4 | 2 | 8 | 5 |

Fuseaux granulaires pour les graves-ciment [3]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les sables traités aux liants hydrauliques

- Les sables à traiter peuvent soit être:
 - des sables naturels
 - des sables de carrière
 - des sables de ballastières
- Les exigences fixées aux sables traités aux liants hydrauliques portent essentiellement sur :
 - la stabilité immédiate appréciée par l'Indice de Portance Immédiate (IPI)
 - les performances mécaniques à long terme appréciées par la résistance en traction directe à 90 ou 180 jours

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les sables traités aux liants hydrauliques

| Spécifications | Fondation (T1 et T2) | Base (T1 et T2) |
|--|-------------------------|---------------------|
| Dimension maximale | $0.5 \leq D \leq$ | $10 \leq D \leq 50$ |
| % de fines | ≤ 50 | ≤ 35 |
| IP | ≤ 30 | ≤ 25 |
| γ_d (à 95 % de l'OPM) | ≥ 1.80 | ≥ 2.1 |
| Module de plasticité = $m \cdot IP$ (<i>m est le mortier = % passant au tamis 0.425</i>) | ≤ 2500 | ≤ 2000 |
| Teneur en matières organiques | $\leq 2 \%$ | $\leq 1 \%$ |
| C_u | ≥ 5 | ≥ 5 |

Spécifications sur les sables traitables au ciment [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les sables traités aux liants hydrauliques

| Spécifications | Fondation (T1 et T2) | Base (T1 et T2) |
|--|-------------------------|--------------------|
| Résistance à la compression simple (bars) -après 7 jours de cure à l'air R_c -après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau R'_c | 5 2.5 | Entre 16 et 30 |
| Rapport R'_c / R_c | 0.5 | ≥ 5 |
| Résistance à la compression diamétrale à 28 jours R_{T28} (bars) | ≥ 3 | |
| Indice CBR -après 7 jours de cure à l'air -après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau | ≥ 80 ≥ 60 | ≥ 160 |
| Dosage en ciment compris entre 2 et 3% | | |
| Épaisseur comprise entre 15 et 25 cm | | |

Spécifications sur le mélange sol-ciment [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les sables traités aux liants hydrauliques

| Sable-laitier R_t à 180j (MPa) | Classification mécanique | Sable-ciment R_t à 90j (MPa) |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| $R_t < 0.15$ | Emploi en couche de base ou fondation non envisagé | $R_t < 0.20$ |
| $0.15 \leq R_t < 0.25$ | Classe A | $0.20 \leq R_t < 0.35$ |
| $0.25 \leq R_t < 0.40$ | Classe B | $0.35 \leq R_t < 0.50$ |
| $0.40 \leq R_t < 0.65$ | Classe C | $0.50 \leq R_t < 0.75$ |
| $R_t \geq 0.65$ | Classe D | $R_t \geq 0.75$ |

Classification mécanique des sables traités aux liants hydrauliques
[5]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graveleux latéritiques traités au ciment

Selon le pourcentage de liant utilisé on distingue:

- **Les sols améliorés au ciment : 2 à 3%**
 - **$E \neq 30$ CBR**
 - **Peuvent se comporter comme des matériaux granulaires**
- **Les sols stabilisés au ciment : 4 à 6 %**
 - **$E \neq 1000R_c$**
 - **Développement de contraintes de traction importantes**
- **Les sols ciments ou béton latéritiques maigres: 10 à 12 %**

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graveleux latéritiques traités au ciment

| Spécifications | Fondation (T ≥ T3) | Base (T1 à T3) |
|--|-----------------------|-------------------|
| Dimension maximale | 10 ≤ D ≤ 50mm | 10 ≤ D ≤ 50mm |
| % de fines | ≤ 35 | ≤ 35 |
| IP | ≤ 30 | ≤ 25 |
| Module de plasticité = m*IP (<i>m est le mortier = % passant au tamis 0.425</i>) | ≤ 2500 | ≤ 2000 |
| Teneur en matières organiques | ≤ 1.5 % | ≤ 1 % |
| CBR (à 95 % de l'OPM) | ≥ 40 | ≥ 60 |
| Gonflement linéaire | Entre 1 et 2% | ≤ 1% |
| Épaisseur minimale | 15 cm | 15 cm |

Spécifications sur la latérite crue utilisée [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graveleux latéritiques traités au ciment

| Spécifications | Fondation (amélioré avec 2 à 3 %) (T3 à T5) | Base (traités 3 à 6 %) (T1 à T3 et T4 parfois) |
|--|---|--|
| Résistance à la compression simple (bars) -après 7 jours de cure à l'air R_c -après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau R'_c | | Entre 14 et 30 > 5 |
| Rapport R'_c / R_c | | 0.5 |
| Résistance à la compression diamétrale à 7 jours R_{T7} (bars) | | > 3 |
| Indice CBR -après 7 jours de cure à l'air -après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau | ≥ 100 | ≥ 160 |
| Épaisseur comprise entre 15 et 25cm | | |

Spécifications sur le mélange des graveleux latéritiques traités au ciments [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Les grave-bitume

Elles sont définies par leur classe de granulats et la nature du liant utilisé.

- couche de base : $14 \leq D \leq 20 \text{ mm}$
- couche de fondation : $14 \leq D \leq 31.5 \text{ mm}$
- Granulats: angularité (IC) et dureté (LA)
- bitume 40/50 et la formulation est basée sur l'essai d'immersion-compression
- teneurs en liant variant entre 3.5 et 4.5%

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Les graves-bitume

- La teneur en liant est définie en laboratoire pour plusieurs valeurs encadrant p :

$$p = \frac{2.65}{\rho} \times K \times \sqrt[5]{\Sigma}$$

- 2.65 (g/cm³) : masse volumique moyenne des granulats naturels
- ρ : module de richesse
- (g/cm³) : masse volumique des granulats
- Σ (m²/kg) : surface spécifique des granulats
- $\Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f$
 - G = % d'éléments supérieurs à 6.3mm
 - S = % d'éléments compris entre 6.3mm et 0.315mm
 - s = % d'éléments compris entre 0.315mm et 0.080mm
 - f = % d'éléments inférieurs à 0.080mm

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Les graves-bitume

| Spécifications | Couche de fondation | Couche de base |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|
| LA | < 45 | < 35 |
| ES | > 30 | > 40 |
| IC | 80 % | 100 % |
| A | < 30 | < 20 |
| IP | 0 | 0 |
| % vides | entre 8 et 12 % | entre 8 et 12 % |
| Refus au tamis | < 10 % | < 10 % |
| Quantité de filler | > 7.3 % | > 7.3 % |
| Teneur en matières organiques | < 1 % | < 0.5 % |
| Teneur en bitume | 3 à 4 % | 3 à 4 % |

Spécifications sur les granulats pour graves-bitume et graves-émulsion [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Les graves-bitume

| Tamis (mm) | % passant | |
|------------|-----------|----------|
| 40 | 100 | 100 |
| 31.5 | 95 - 100 | 95 - 100 |
| 20 | - | - |
| 10 | 55 - 82 | 40 - 70 |
| 6.3 | 47 - 70 | 30 - 57 |
| 2 | 30 - 50 | 18 - 40 |
| 0.5 | 17 - 32 | 8 - 25 |
| 0.08 | 4 - 10 | 4 - 8 |

Fuseaux granulaires pour les graves-bitume 0/31.5 (CEBTP) [9]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

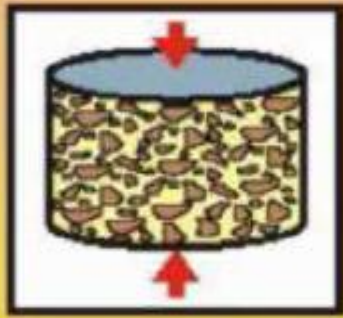
II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Les graves-bitume

| Performances | Couche de base | | Couche de fondation | |
|-------------------------------|---------------------------|---------|---------------------|-----|
| Compacité LCPC | | | | |
| - minimale (%) | 88 | | 85 | |
| - maximale (%) | 96 | | 96 | |
| Résistance à la compression | IC \geq 85 | IC < 85 | | |
| | | | | |
| | - avec bitume 60/70 (MPa) | > 5 | > 4 | > 3 |
| | - avec bitume 40/50 (MPa) | > 6 | > 5 | > 4 |
| Rapport immersion-compression | 0.65 | | 0.65 | |

Performances des graves-bitume dans l'essai d'immersion compression LCPC à 18°C [5]



COMPACTAGE DOUBLE EFFET 5 min

| | Étrobé DE 14 mm | Étrobé D > 14 mm |
|--------------|--------------------|---------------------|
| φ éprouvette | 8 cm | 12 cm |
| Masse | 1 kg | 3,5 kg |
| F appliquée | 68 kN | 180 kN |

Conservation 7 jours
Compression simple



à sec : R



avec immersion : r

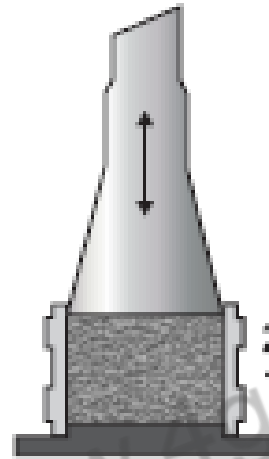


Essai d'immersion compression LCPC à 18°C [5]

Exécution



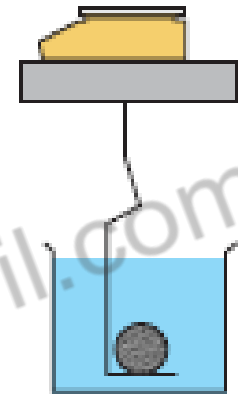
Compactage



2 x 50 coups
130 - 195 °C



Pesée en immersion



Presse Marshall

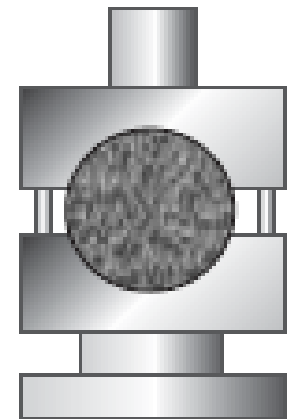
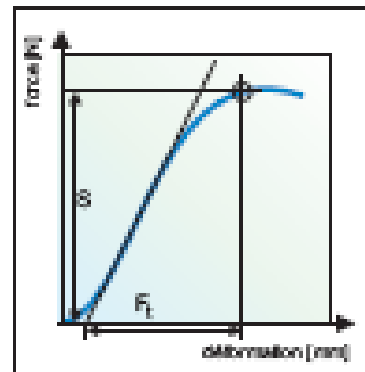


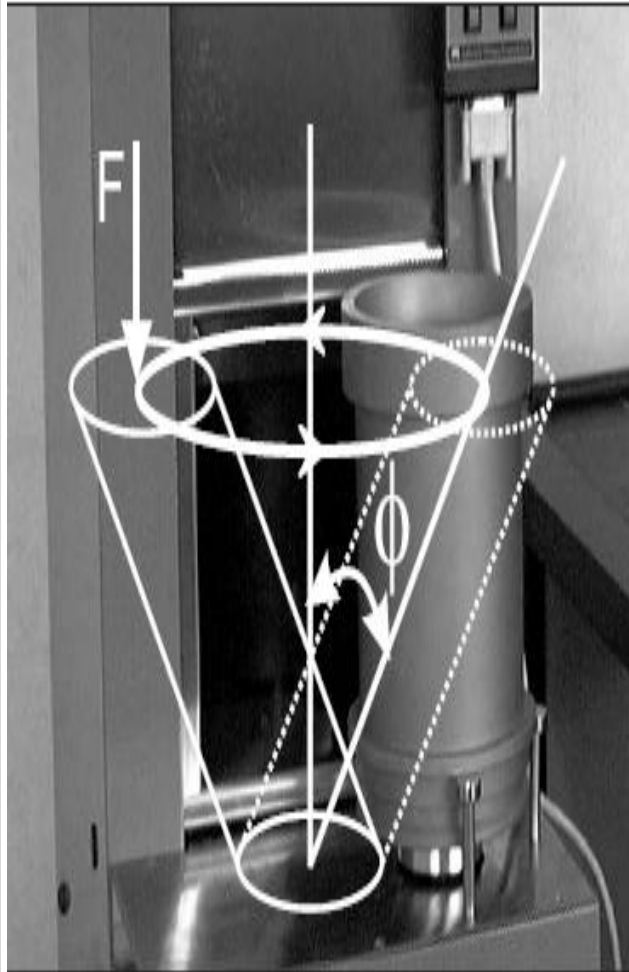
Diagramme de force-déformation



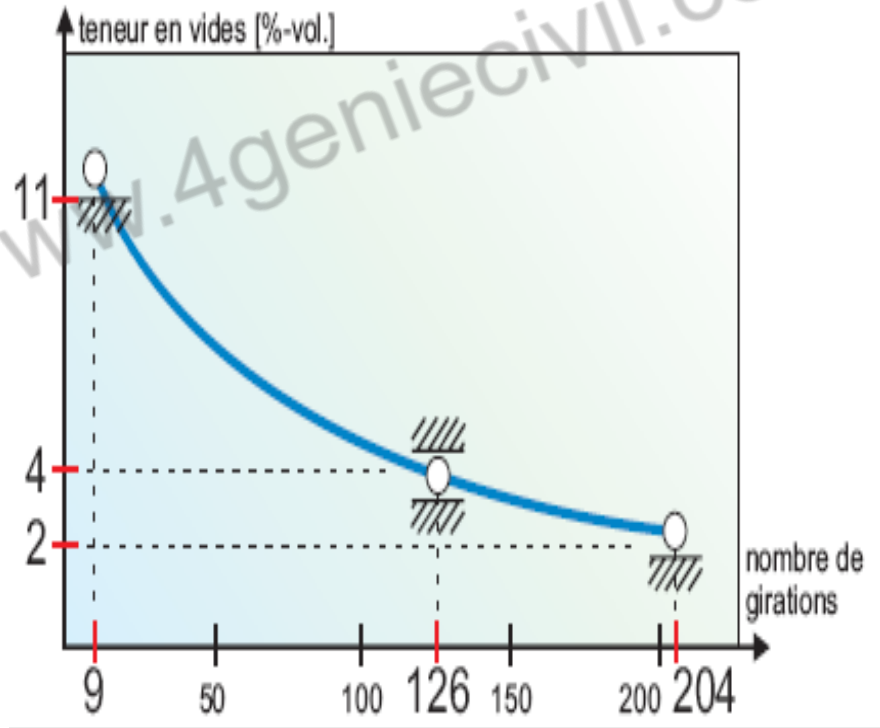
Attestation



Essai Marshall



Diminution de la teneur en vides lors du compactage



Essai PCG

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Les graves-émulsion

- Le liant utilisé pour ces matériaux est une émulsion à rupture lente (la rupture devant se produire entre la sortie du malaxage et le compactage)
- Les teneurs en fines doivent rester dans les proportions suivantes :
 - couche de base : 4 à 8 %
 - couche de fondation : 3 à 7 %
- Le dosage en liant est compris entre 3 et 4%. Le bitume de base peut ne pas être très dur et sa teneur dans l'émulsion est égale à 60 à 65%.

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Les graves-bitume

| Caractéristiques | Couche de base ou de fondation |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Compacité LCPC (%) | > 85 |
| Résistance à la compression | |
| - avec bitume 180/220 (MPa) | > 2 |
| - avec bitume 80/100 (MPa) | > 3 |
| - avec bitume 40/50 (MPa) | > 4 |
| Rapport immersion-compression | > 0.55 |

Performances des graves-émulsion dans l'essai d'immersion compression LCPC à 18°C [5]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

II. Les matériaux utilisés en assise de chaussée

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Les sables-bitume

- La dimension maximale de D est inférieure à 6mm et on distingue généralement trois types de sables :
 - sable 0/2 mm
 - sable 0/4 mm
 - sable 0/6 mm
- Le liant est un bitume 20/30 ou 40/50 dosé de 3 à 4 % pour assurer une bonne rigidité et la stabilité.
- Si $f < 5 \%$, il faut apporter une correction granulométrique au matériau par apport de fines (chaux, ciment, fines calcaires)

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface

On distingue essentiellement les grandes familles suivantes:

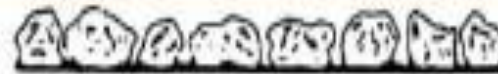
- les enduits superficiels ;
- les enrobés hydrocarbonés à chaud regroupant :
 - les bétons bitumineux
 - les enrobés denses
 - et les mortiers bitumineux (sand-asphalt, sheet-asphalt, micro-béton)

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface Les enduits superficiels

- « *Un enduit superficiel est un film de liant répandu sur la surface à revêtir, sur lequel une couche de granulats est répandue et cylindrée.* »[5]
- Selon qu'on utilise une ou plusieurs couches de liants, on parlera de:
 - Monocouche
 - Bicouche
 - Tricouche.
- Suivant qu'on emploie un ou deux classes de granulats, on parlera de:
 - simple gravillonnage
 - double gravillonnage

LG



Monocouche simple

LGg



Monocouche double gravillonnage

GLg



Monocouche sandwich (Inversé gravillonné)

LGLg



Bicouche

LgLG



Bicouché inverse

- L liant
- G gros granulats
- g petits granulats



Epandeuse de liant



Gravillonnage



Cylindrage

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface Les enduits superficiels

- Les granularités courantes
 - 4/6.3, 6.3/10, 10/14
 - au Sénégal on utilise plus souvent du 3/8 ou 8/16
- Exigences sur les granulats:
 - la dureté et la résistance au polissage ;
 - la forme et l'angularité pour assurer une bonne rugosité ;
 - la propreté
- On peut utiliser des bitumes purs (80/100 ou 180/220), des bitumes fluxés ou fluidifiés, des émulsions avec une teneur en bitume pur variant entre 50 et 69% ou des bitumes modifiés.

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface Les enduits superficiels

| Essais | Trafic (PL/j) | | | | |
|--------|----------------------|----------|-----------|-----------|--------|
| | T3 et inférieur à T3 | | T2 | T1 | T0 |
| | < 25 | 25 à 150 | 150 à 300 | 300 à 750 | > 750 |
| LA | ≤ 25 | ≤ 20 | ≤ 15 | ≤ 15 | ≤ 15 |
| MDE | ≤ 20 | ≤ 15 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 |
| A | ≤ 25 | ≤ 20 | ≤ 20 | ≤ 15 | ≤ 10 |
| P1 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 1 | ≤ 0.5 | ≤ 0.5 |
| CPA | ≥ 0.45 (1) | ≥ 0.5 | ≥ 0.5 | ≥ 0.5 | ≥ 0.55 |
| RC | - | > 4 | > 4 | > 6 | (2) |
| IC | 100 | - | - | - | - |

(1) 0.40 comme minimum lorsque la vitesse est inférieure à (2) pas de matériaux alluvionnaires dans cette classe de trafic

LA : coefficient de Los Angeles

MDE : essai Microdeval en présence d'eau

A : coefficient d'aplatissement

P1 : % d'éléments inférieurs à 0.5mm

CPA : coefficient de polissage accéléré

RC : rapport de concassage

IC : indice de concassage

Caractéristiques des granulats pour enduits superficiels [5]

| Dosage d/D (mm) | | Liant résiduel (kg/m ²) | | Granulats (1) (L/m ²) | |
|--------------------|--------------|--|-------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Monocouche | 2/4 | 0.800 | | 4 à 5 | |
| | 4/6 | 1.000 | | 6 à 7 | |
| | 6/10 | 1.300 | | 8 à 9 | |
| | 10/14 | 1.600 | | 11 à 13 | |
| | 14/20 (2) | 1.900 | | 15 à 18 | |
| Bicouche | | Couche | Total | 1 ^{ère} couche (3) | 2 ^{ème} couche (4) |
| | 6/10 – 2/4 | 0.7 | 1.7 | 8 à 9 | 4 à 5 |
| | 6/10 – 4/6 | + 1 | | | 6 à 7 |
| | 10/14 – 4/6 | 0.8 | 2.0 | 11 à 13 | 8 à 9 |
| | 10/14 – 6/10 | + 1.2 | | | |
| | 14/20 – 6/10 | 1.0 | 2.3 | 13 à 15 | |
| | + 1.3 | | | | |

(1) doit correspondre au pouvoir couvrant réel des matériaux majoré de 3 à 5%

(2) des essais préliminaires sont conseillés

(3) doit correspondre au pouvoir couvrant des granulats

(4) ces quantités peuvent être légèrement augmentées, notamment lors d'une mise en œuvre par temps très chaud afin d'éviter le collage aux pneumatiques

Dosage en gravillons et en liants pour enduits superficiels [5]

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface Les enduits superficiels

| Type de liant | Trafic (PL/j) | | | | |
|--------------------|----------------------|----------|-----------|-----------|-------|
| | T3 et inférieur à T3 | | T2 | T1 | T0 |
| | < 25 | 25 à 150 | 150 à 300 | 300 à 750 | > 750 |
| Bitumes fluidifiés | 400/600 | 800/400 | - | - | - |
| Bitumes fluxés | 400/600 | 800/1200 | 1200/1600 | 1600/2400 | - |
| Bitumes goudrons | 1200 | 2000 | 2000 | 2000 | - |
| Émulsions | 65% | 65% | 69% | - | - |

Choix du type de liants en fonction du trafic pour enduits superficiels

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface Les enrobés denses

« Un enrobé dense de granularité 0/D est un mélange de gravillons, de sables, de fillers et de bitume. »[11]

- pourcentage de vides compris entre 10 et 12 % relativement élevé.
- pourcentage de filler de l'ordre de 5 %
- fuseau granulométrique est assez large.

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface

Les bétons bitumineux

« Un béton bitumineux de granularité 0/D est un enrobé dense, très élaboré, constitué par le mélange d'éléments concassés, de sable de concassage et de bitume. » [11]

- granulats utilisés doivent être : durs (LA), résistants au polissage (CPA), propres (ES), de bonne forme (rapport de concassage (Rc))
- pourcentage de filler élevé et l'étroitesse du fuseau granulométrique
- pourcentage de vides de 6 % en moyenne
- Les dosages en liants sont généralement compris entre :
 - 5.5 et 5.8 % pour les 0/14
 - 5.8 et 6.1 % pour les 0/10



Atelier de mise en œuvre d'un béton bitumineux



Compacteur à pneu

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface Les bétons bitumineux

| Spécifications | Valeurs |
|----------------|----------------|
| LA | < 22 |
| ES | > 50 |
| MDE | ≤ 15 |
| R_c | ≥ 4 |
| IP | $= 0$ |
| % vides | entre 6 et 8 % |

Spécifications sur les granulats pour bétons bitumineux [9]

| Tamis (mm) | FUSEAUX LCPC-SETRA | | FUSEAUX CEBTP | | |
|------------|--------------------|----------|---------------|----------|----------|
| | % passant | | % passant | | |
| | 0/12 | 0/14 | 0/10 | 0/14 | |
| 20 | | | | | 100 |
| 16 | 100 | 100 | | | |
| 14 | | 94 - 100 | 100 | 100 | 95 - 100 |
| 12 | 75 - 100 | | | | |
| 10 | | 72 - 84 | 80 - 100 | 95 - 100 | 75 - 100 |
| 8 | 60 - 85 | | | | |
| 6.3 | | 56 - 66 | 60 - 100 | 65 - 92 | 50 - 88 |
| 4 | 40 - 80 | 40 - 54 | | | |
| 2 | | 28 - 40 | 25 - 75 | 25 - 65 | 23 - 60 |
| 1.6 | 28 - 67 | | | | |
| 0.8 | 20 - 55 | | | | |
| 0.2 | | | 6 - 25 | 6 - 20 | 6 - 20 |
| 0.16 | 6 - 22 | | | | |
| 0.08 | 5 - 10 | 7 - 10 | 3 - 7 | 3 - 8 | 3 - 8 |

Fuseaux granulaires pour bétons bitumineux [9]

| Spécifications | Valeurs | |
|--|--|--|
| | 0/10 | 0/14 |
| Essai de compactage à la presse à cisaillement giratoire <ul style="list-style-type: none"> • Compacité à 10 girations C10 • Compacité à 60 girations C60 | <p style="text-align: center;">< 89 %</p> <p style="text-align: center;">92 – 95 %</p> | <p style="text-align: center;">< 89 %</p> <p style="text-align: center;">93 – 96 %</p> |
| Essai de compression simple LCPC <ul style="list-style-type: none"> • Compacité <ul style="list-style-type: none"> - couche de roulement - couche de liaison • Résistance à la compression à sec R à <ul style="list-style-type: none"> - avec un bitume 180/220 - avec un bitume 80/100 - avec un bitume 60/70 - avec un bitume 40/50 • Rapport immersion compression | <p style="text-align: center;">$91 \leq C \leq 95$</p> <p style="text-align: center;">$90 \leq C \leq 94$</p> <p style="text-align: center;">> 4 MPa</p> <p style="text-align: center;">> 5 MPa</p> <p style="text-align: center;">> 6 MPa</p> <p style="text-align: center;">> 7 MPa</p> <p style="text-align: center;">> 0.75</p> | <p style="text-align: center;">$92 \leq C \leq 96$</p> <p style="text-align: center;">$90 \leq C \leq 94$</p> <p style="text-align: center;">> 4 MPa</p> <p style="text-align: center;">> 5 MPa</p> <p style="text-align: center;">> 6 MPa</p> <p style="text-align: center;">> 7 MPa</p> <p style="text-align: center;">> 0.75</p> |
| Essai Marshall <ul style="list-style-type: none"> • Compacité <ul style="list-style-type: none"> - couche de roulement - couche de liaison | <p style="text-align: center;">$\leq 97 \%$</p> <p style="text-align: center;">$\leq 95 \%$</p> | <p style="text-align: center;">$\leq 97 \%$</p> <p style="text-align: center;">$\leq 95 \%$</p> |
| Essai à l'orniéreur LPC <ul style="list-style-type: none"> • profondeur d'ornière à 30 000 cycles, à avec le bitume du chantier, estimée à la compacité à la presse à cisaillement giratoire, pour trafic T_0 et T_1 : <ul style="list-style-type: none"> - C60 - C80 | <p style="text-align: center;">$\leq 10 \%$</p> | <p style="text-align: center;">$\leq 10 \%$</p> |

Chapitre IV - Les matériaux routiers

III. Les matériaux utilisés en couche de surface Les sand-asphalt

« Un sand-asphalt de granularité 0/D (en général 0/5) est un mélange de sable bien gradué et de bitume. »[11]

- très sensible aux fortes variations journalières de température et à l'imbibition
- la qualité et le dosage du liant :
 - les bitumes 80/100, 60/70 et 40/50
 - dosage du liant entre 6 et 8%.