

Université Kasdi Merbah – Ouargla  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil et Hydraulique

جامعة قاصدي مرباح – ورقلة  
كلية العلوم التطبيقية  
قسم الهندسة المدنية والري



Mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme de

## **Master en Travaux Publics**

Option : Voies et Ouvrages D'arts

---

# **Etude de l'impact de la modification du bitume sur le module de rigidité du béton bitumineux**

---

Présenté par

**ATLILI Mohammed talal**

**ZERIBI Ismail**

Soutenue publiquement le : 01/06/2025

### **Devant le jury composé de :**

|                   |           |              |                       |
|-------------------|-----------|--------------|-----------------------|
| KEBAILI Nabil     | MCA       | Président    | Université de Ouargla |
| AOUAM Abdou       | Ingénieur | Examineur    | A.S.T.E.C             |
| CHAIB Hachem      | MCA       | Encadreur    | Université de Ouargla |
| BENZID Abdelhamid | Docteur   | Co-Encadreur | Betta concept         |

**Année Universitaire 2024/2025**



# Remerciements

---

# Résumé

---

Le mélange bitumineux (ou enrobé bitumineux) est l'un des éléments les plus importants de la structure routière. Cependant, il est sujet à de nombreuses déformations permanentes qui peuvent entraver la circulation et compromettre la sécurité routière.

De nombreuses études ont abordé de manière expérimentale la possibilité d'améliorer la résistance des routes en apportant des modifications à la composition du mélange bitumineux ou en changeant certains de ses composants.

Dans cette étude expérimentale, nous avons remplacé le bitume (40/50) habituellement utilisé dans le mélange bitumineux par du bitume modifié avec du polymère (PP), à des proportions variables, en utilisant diverses expériences de laboratoire. L'objectif était de préserver l'environnement en réduisant les déchets plastiques, d'améliorer la résistance du mélange bitumineux et d'augmenter son module de rigidité.

L'étude a abouti à un ensemble de résultats positifs, dont le plus important est l'effet du bitume modifié sur l'augmentation du module de rigidité du mélange bitumineux.

Mots-clés : mélange bitumineux ; module de rigidité ; bitume ; polymère pp.

# ملخص

---

تعتبر الخلطة الاسفلتية من اهم العناصر المشكلة لجسم الطريق ، الا أنها تتعرض لكثير من التشوهات الدائمة التي قد تعيق حركة السير وتؤدي الى انعدام السلامة المرورية

دراسات كثيرة تناولت بصفة تجريبية امكانية تحسين مقاومة الطرق و ذلك باضافة تعديلات في تركيبة الخلطة الاسفلتية او بالتغيير في بعض مكوناتها

في هاته الدراسة التجريبية قمنا بتغيير البيتومين (50/40) المعمول به عادة في الخلطة الاسفلتية بالبيتومين المعدل بمادة البوليمار (PP) بنسب متغيرة باستعمال بعض التجارب المخبرية ، وهذا بهدف الحفاظ على البيئة عن طريق التقليل من نفايات البلاستيكية و تحسين مقاومة الخلطة الاسفلتية و رفع من معامل الصلابة

وقد توصلت الدراسة الى مجموعة من النتائج الايجابية أهمها تأثير البيتومين المعدل على زيادة معامل الصلابة للخلطة الاسفلتية

الكلمات المفتاحية: خليط البيتومين، معامل الصلابة، البيتومين، البوليمر pp.

# Sommaire

---

|                                                    |      |
|----------------------------------------------------|------|
| Remerciements                                      | I    |
| Résumé                                             | II   |
| Sommaire                                           | IV   |
| Liste des Tableaux                                 | VII  |
| Liste des Figures                                  | VIII |
| Liste des Photos                                   | X    |
| Liste de symboles                                  | XI   |
| Introduction Générale                              | 1    |
| Partie I                                           | 3    |
| Chapitre 1: Généralités sur les enrobes bitumineux | 5    |
| 1.1. Introduction                                  | 5    |
| 1.2. COMPOSITION DE L'ENROBE BITUMINEUX            | 5    |
| 1.2.1. Liant hydrocarboné:                         | 5    |
| 1.2.2. Granulats                                   | 12   |
| 1.3. CLASSIFICATION DES ENROBES BITUMINEUX:        | 14   |
| 1.3.1. Béton bitumineux (BB)                       | 14   |
| 1.3.2. Grave bitume (GB)                           | 14   |
| 1.3.3. Sable bitumineux                            | 14   |
| 1.3.4. Béton bitumineux mince (BBM)                | 15   |
| 1.3.5. Béton bitumineux très mince (BBTM)          | 15   |
| 1.3.6. Béton bitumineux ultra mince (BBUM)         | 15   |
| 1.3.7. Béton bitumineux souple (BBS)               | 15   |
| 1.3.8. Béton bitumineux semi-grenu (BBSG)          | 15   |
| 1.3.9. Bétons bitumineux à module élevé (BBME)     | 16   |
| 1.4. ETUDE DE FORMULATION                          | 16   |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1.5. ESSAIS SUR LES ENROBÉS BITUMINEUX                     | 18 |
| 1.5.1. Essai Marshall (NF EN 12697-34)                     | 18 |
| 1.5.2. Niveaux d'épreuves de formulation des enrobés       | 18 |
| 1.6 Conclusion                                             | 22 |
| Chapitre 2: Notions sur le module de rigidité              | 23 |
| 2.1. Introduction                                          | 23 |
| 2.2. Essais de rigidité normalisés [EN 12697-26, 2012]     | 23 |
| 2.3. Essai de Traction indirect IT-CY                      | 24 |
| 2.3.1. Principe :                                          | 24 |
| 2.3.2. Appareillage :                                      | 24 |
| 2.3.3. Mode d'opérateur                                    | 26 |
| 2.3.4. Condition de stockage                               | 26 |
| 2.3.5. Mesure de rigidité                                  | 26 |
| 2.3.6. Mesure de la déformation                            | 27 |
| 2.4. Conclusion                                            | 27 |
| Partie II                                                  | 28 |
| Chapitre 3: Matériaux et procédures d'essais               | 29 |
| 3.1. Introduction                                          | 29 |
| 3.2. CARACTÉRISTIQUE DES AGRÉGATS                          | 29 |
| 3.2.1. Analyse Granulométrique (NF P 18-560)               | 29 |
| 3.2.2. Mesure du coefficient d'aplatissement (NF P 18-561) | 31 |
| 3.2.3. Propriété superficielle (NF P 18-554)               | 32 |
| 3.2.4. Essai los Angeles (NF P 18-573)                     | 33 |
| 3.2.5. Essai de Micro-Deval (NF P 18-572)                  | 33 |
| 3.2.6. Masse volumique (NF P 18-554)                       | 34 |
| 3.2.7. Équivalent de sable (NF P 18-597)                   | 36 |
| 3.3. CARACTÉRISTIQUE DU LIANT UTILISÉ                      | 37 |

|                                                                                   |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 3.4. ETUDE DE FORMULATION                                                         | 37                                  |
| 3.4.1. Composition granulaire                                                     | 37                                  |
| 3.4.2. Détermination de mélanges proposé:                                         | 39                                  |
| IV.2.3. Détermination de la teneur e liant                                        | 40                                  |
| 3.4.3. FABRICATION D'ENROBE BITUMINEUX A CHAUX                                    | 41                                  |
| 3.5. EXECUTION ESSAI MARSHALL                                                     | 42                                  |
| 3.5.1. Préparation des éprouvettes                                                | 42                                  |
| 3.5.2. Mode opératoire d'essai                                                    | 43                                  |
| 3.5.3. Caractéristiques mécaniques de l'enrober bitumineux d'après essai Marshall | 44                                  |
| 3.6. L'essai Module de Rigidité                                                   | 46                                  |
| 3.6.1. Calcul du module de rigidité :                                             | 46                                  |
| 3.6.2. Détermination de la densité apparente (méthode géométrique) :              | 47                                  |
| 3.7. L'essai sensibilité à l'eau:                                                 | 48                                  |
| 3.7.1. Preparation des eprouvettes :                                              | 48                                  |
| 3.8. Conclusion                                                                   | 50                                  |
| Chapitre 4: Résultats et discussion                                               | 51                                  |
| 4.1. Introduction                                                                 | 51                                  |
| 4.2. EXPRESSION DES RESULTATS D'ESSAI MARSHALL                                    | 51                                  |
| 4.3. EXPRESSION DES RESULTATS D'ESSAI MODULE DE RIGIDITE                          | 53                                  |
| 4.4. EXPRESSION DES RESULTATS D'ESSAI SENSIBILITE A LEAU                          | 54                                  |
| 4.5. Conclusion                                                                   | 55                                  |
| General Conclusion                                                                | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Référencés                                                                        | 58                                  |

# Liste des Tableaux

---

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1.1.</b> Granulométrie du mélange                              | 14 |
| <b>Tableau 2.1.</b> Dimensions des bandes de chargement                   | 19 |
| <b>Tableau 3.1.</b> Résultats de l'analyse granulométrique des agrégats   | 24 |
| <b>Tableau 3.2.</b> Résultats de coefficient d'aplatissement              | 26 |
| <b>Tableau 3.3.</b> Résultats propriété superficiel                       | 27 |
| <b>Tableau 3.4.</b> Résultats Essai los Angeles                           | 27 |
| <b>Tableau 3.5.</b> Résultats essai micro deval                           | 28 |
| <b>Tableau 3.6.</b> Résultats de masse volumique apparent et absolu       | 30 |
| <b>Tableau 3.7.</b> Résultats d'équivalent de sable                       | 31 |
| <b>Tableau 3.8.</b> Résultats des essais de bitumes                       | 31 |
| <b>Tableau 3.9.</b> Granulométrie du mélange 0/14                         | 33 |
| <b>Tableau 3.10.</b> Pourcentage des éléments                             | 34 |
| <b>Tableau 3.11.</b> Calcule Teneur en liant                              | 35 |
| <b>Tableau 4.1.</b> Variation de stabilité en fonction de teneur en liant | 45 |
| <b>Tableau 4.2.</b> . Caractéristique d'essai Marshall                    | 46 |
| <b>Tableau 4.3.</b> Résultats essai module de rigidité                    | 47 |

# Liste des Figures

---

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1.1</b> Classification Liant hydrocarboné                        | 6  |
| <b>Figure 1.2</b> Principe de l'essai de pénétrabilité                     | 7  |
| <b>Figure 1.3</b> Principe de l'essai de point de ramollissement           | 8  |
| <b>Figure 1.4</b> Pycnomètre + bitume                                      | 8  |
| <b>Figure 1.5</b> Principe de l'essai ductilité                            | 8  |
| <b>Figure 1.6</b> Appareil de l'essai point d'éclair                       | 9  |
| <b>Figure 1.7</b> Appareil RTFOT                                           | 9  |
| <b>Figure 1.8</b> Différent types d'enrobés bitumineux                     | 11 |
| <b>Figure 1.9</b> Presse Marshall                                          | 15 |
| <b>Figure 1.10</b> niveaux d'épreuves de formulation des enrobés.          | 16 |
| <b>Figure 1.11</b> Machine d'essais universelle électromécanique de 200 KN | 16 |
| <b>Figure 1.12</b> Compacteur giratoire                                    | 17 |
| <b>Figure 1.13</b> Machine d'orniérage (orniéreur)                         | 17 |
| <b>Figure 1.14</b> Module de rigidité d'enrobé                             | 18 |
| <b>Figure 1.15</b> Machine de fatigue                                      | 18 |
| <b>Figure 2.1</b> Plusieurs méthodes de module de rigidité                 | 19 |
| <b>Figure 2.2</b> Equipment d'essai                                        | 20 |
| <b>Figure 2.3</b> Forme de l'impulsion de chargement                       | 20 |
| <b>Figure 3.1</b> Courbe granulométrique du sable 0/3                      | 24 |
| <b>Figure 3.2</b> Courbe granulométrique du gravier 3/8                    | 25 |
| <b>Figure 3.3</b> Courbe granulométrique du gravier 8/15                   | 25 |
| <b>Figure 3.4</b> Grilles à fonte                                          | 26 |
| <b>Figure 3.5</b> Machine los Angeles                                      | 27 |
| <b>Figure 3.6</b> Masse volumique apparent                                 | 28 |
| <b>Figure 3.7</b> Masse volumique absolu                                   | 29 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 3.8</b> Equivalent de sable                                                | 30 |
| <b>Figure 3.9</b> Courbes granulométriques des classes granulaires 0/3 ; 3/8 et 8/15 | 32 |
| <b>Figure 3.10</b> Pourcentages des compositions granulaires du mélange              | 32 |
| <b>Figure 3.11</b> Courbe granulométrique du mélange et fuseau de référence 0/14     | 34 |
| <b>Figure 3.12</b> Différence entre la masse volumique apparent et réelle            | 39 |
| <b>Figure 4.1</b> Variation de stabilité en fonction de teneur en liant              | 45 |
| <b>Figure 4.2</b> Variation de fluage en fonction de teneur en liant                 | 46 |
| <b>Figure 4.3</b> Variation de compacité en fonction de teneur en liant              | 47 |
| <b>Figure 4.4</b> Variation de compacité en fonction de teneur en liant              | 47 |

# Liste des Photos

---

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| <b>Photo 1.1</b> enrobe bitumineux                              | 3  |
| <b>Photo 2.1</b> Essai traction indirect                        | 17 |
| <b>photo 2.2</b> Equipment d'essai                              | 19 |
| <b>Photo 3.1</b> Tamiseuse                                      | 23 |
| <b>Photo 3.2</b> Machine micro deval                            | 28 |
| <b>photo 3.3</b> les agregats                                   | 35 |
| <b>Photo 3.4</b> malaxeur d'enrobe                              | 36 |
| <b>photo 3.5</b> Les moules Marshall                            | 37 |
| <b>Photo 3.6</b> Dame Marshall                                  | 37 |
| <b>Photo 3.7</b> Bain Marie                                     | 38 |
| <b>photo 3.8</b> Presse Marshall                                | 38 |
| <b>Photo 3.9</b> Traction Indirect NAT                          | 40 |
| <b>Photo 3.10</b> Mesure des dimensions avec le pied à coulisse | 41 |
| <b>photo 3.11</b> Les Méthodes l'essais Réalisés                | 42 |
| <b>Photo 3.12</b> Préparation des éprouvettes                   | 42 |
| <b>Photo 3.13</b> conservation des éprouvettes                  | 43 |
| <b>Photo 3.14</b> Conservation des éprouvettes                  | 43 |

# Liste de symboles

---

**LTPS** : Laboratoire des Travaux Publics du Sud

**BB** : Béton bitumineux

**BBME** : Béton bitumineux a module eleve

**RHA**: Rice husk ash

**CHA**: coffee husk ash

$\rho_{app}$  : Masse volumique apparent

$\rho_s$  : Masse volumique absolu

**AP** : Coefficient d’aplatissement

**PS** : Propriété superficiel

**LA** : Coefficient los Angeles

**MDE** : Coefficient micro deval

**ES** : Equivalent de sable

**TL** : Teneur en liant

$\alpha$  : Coefficient correcteur

$MVR_g$  : Masse volumique réelle des agrégats

**K** : Module de richesse

$\Sigma$  : Surface spécifique des agrégats

**G** : Pourcentage des éléments de dimensions supérieur à 6,30 mm

**S** : Pourcentage des éléments de dimensions comprises entre 6,30 et 0,315mm

**s** : Pourcentage des éléments de dimensions comprises entre 0.315 et 0,08 mm

**F** : Pourcentage des éléments de dimensions inférieurs à 0,08mm

**MVA** : Masse volumique apparent d’enrobé

**MVR** : Masse volumique réelle d’enrobé

**S** : Stabilité de Marshall

**F** : Fluage marshal

**C** : Compacité

**V** : Pourcentage des vides

**PCG** : Presse à Cisaillement Giratoire

**H** : Hauteur d'éprouvette

**D** : Diamètre d'éprouvette

**Hmin**: La hauteur minimale correspondent un pourcentage de vide = 0 %

# Introduction Générale

---

D'une manière générale, le réseau routier d'un pays constitue l'un des patrimoines qui revêt une importance capitale dans son développement. En effet, la route assure le lien entre les zones d'économie complémentaire, de production, d'importation, d'exportation et de consommation au sein des états mais aussi entre les états. Aussi, elle assure des liaisons humaines et sociales d'une importance inestimable car elle permet l'établissement d'échanges culturels, sociaux, politiques et administratifs qui s'avère aussi être un des éléments promoteur à tout développement.

Les ingénieurs et chercheurs font des recherches pour développer des techniques aux l'utilisation des matériaux locaux dans le domaine de construction d'infrastructure routier afin de réduire le coût de revient des projets.

Donc, cette recherche est venue comme une tentative pour améliorer les comportements mécaniques des bétons bitumineux, par l'intermédiaire de l'amélioration des caractéristiques physico-mécaniques des liants hydrocarbonés qui les composent. A cet effet, le bitume pur a été modifié par du plastique recyclé.

Ce bitume modifié sur lequel nous nous sommes basés a été préparé au laboratoire de l'université. Les expériences ont été menées à la fois au laboratoire de l'université et aux laboratoires des Travaux Publics (LTPS), unités de Ouargla et Ghardaïa.

La question qui peut être posée : est-ce que la modification du bitume pur par le (PP) influe sur les caractéristiques mécaniques du béton bitumineux ?

Cette étude comprend deux parties : la partie bibliographique et la partie expérimentale

## **Partie bibliographique**

Il se compose de deux parties

- Le premier chapitre présente des généralités sur enrobé bitumineux
- Le deuxième chapitre présente l'essai de module de rigidité sur l'enrobé bitumineux

## **Partie expérimentale**

Il se compose de trois parties

- Le troisième chapitre présente Matériaux et procédures d'essais
- Le quatrième chapitre Résultats et discussion

Finalement nous avons clôturé ce travail par une conclusion générale et des recommandations

# Partie I



# Chapitre 1: Généralités sur les enrobes bitumineux

---

## 1.1. Introduction

L'enrobé bitumineux est un matériau constitué d'un mélange de granulats (gravillons, sable, fines) et de liant hydrocarboné (bitume). Utilisé généralement pour les couches de roulement, c'est à-dire pour les couches supérieures de la chaussée.

Les granulats assurent la rigidité de l'enrobé par contre le bitume lie les granulats ensemble et donne au mélange le caractère visqueux.



**Photo 1.1.** enrobe bitumineux

## 1.2. COMPOSITION DE L'ENROBE BITUMINEUX

L'enrobé bitumineux constitué essentiellement par un liant hydrocarboné et granulats

### 1.2.1. Liant hydrocarboné:

Les liants hydrocarbonés sont des produits issus de la distillation du pétrole et de la houille (charbon minéral).

Le mot liant signifie « colle » et l'adjectif « hydrocarboné » indique que le produit renferme principalement des atomes de carbone et d'hydrogène. Implicitement, Les deux grandes catégories de liants hydrocarbonés sont les goudrons et les bitumes. [2]

On distinguera les périodes suivantes d'utilisations du liant hydrocarboné [3]

- De 1900 à 1930 : goudrons de houille
- De 1930 à 1950 : Emulsion de bitume

- Jusqu'en 1970 : les bitumes purs
- Les années 70 : les bitumes polymères
- Les années 80 : les liants modifiés et les additifs
- Les années 90 : les bitumes spéciaux

#### **a) Goudron**

Le goudron est obtenu par distillation sèche (chauffage à haute température sans air) d'un combustible. On distingue, selon le combustible employé, les goudrons d'origine végétale, fossilifère ou sédimentaire.

#### **b) Bitume**

Le bitume est un mélange d'hydrocarbures issus de la distillation du pétrole. Sa composition chimique varie en fonction du pétrole utilisé pour son obtention. à température ambiante, c'est un solide inerte, mais une fois chauffé, il ramollit pour devenir un liquide visqueux et adhésif. Il est principalement choisi selon ses propriétés de déformation, ses propriétés adhésives, sa résistance dans le temps et sa stabilité aux températures ambiantes. Les bitumes sont également définis selon leur grade (évolution de la viscosité en fonction de la température). [4]

#### **I.2.1.1. Classification Liant hydrocarboné :**

Une classification des liants est donnée dans la norme européenne EN 12-597. On différencie d'abord les liants bitumineux, qui regroupent des liants ou mélanges de liants et de granulats qui contiennent du bitume, et les liants à base de goudron. Les liants bitumineux sont ensuite classés l'origine du bitume : naturelle ou dérivée du pétrole. Les liants bitumineux issus du pétrole sont quant à eux différenciés selon leur structure et selon leur usage. [3]

➤ Selon leur structure :

##### **Bitume pur**

Les bitumes purs et les bitumes routiers durs Ils sont obtenus par raffinage de bruts pétroliers sont classés à l'aide de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille (20/30,40/50,60/70,80/100...)

### Bitume fluidifié

Un bitume fluidifié, ou Cut-back, est un bitume dont on a réduit la viscosité en lui ajoutant un diluant assez volatil (du pétrole ou du kérosène par exemple) . On utilise les cut-backs pour des enrobés pour couches de scellement et couches d'accrochage.

On distingue ainsi :

- Les cut-backs à prise rapide (RC) : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'un diluant de haute volatilité comme l'huile de naphthe ou de gazoline.
- Les cut-backs à prise moyenne (MC) : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'un diluant de volatilité moyenne comme le kérosène.
- Les cut-backs à prise lente (SC) : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'huiles de volatilité lente. [5]

### Bitume fluxé

, bitume additionné d'une huile de fluxage

### Bitume modifié

Liants bitumineux dont les propriétés rhéologiques ont été modifiées par l'emploi d'un agent chimique

### Émulsion de bitume

Est un liant, composé d'eau et de bitume. Émulsion est un système dispersé aux particules de bitume dispersées dans l'eau. La tâche principale est d'empêcher la coalescence des microparticules de bitume, qui maintient les propriétés physicochimiques d'émulsion et sa qualité. Cette stabilité est obtenue par intermédiaire des émulsifiants spéciales.

Les émulsions de bitume sont réparties en trois classes :

- Les émulsions à prise rapide (RS).
- Les émulsions à prise moyenne (MS).
- Les émulsions à prise lente (SS). [5]

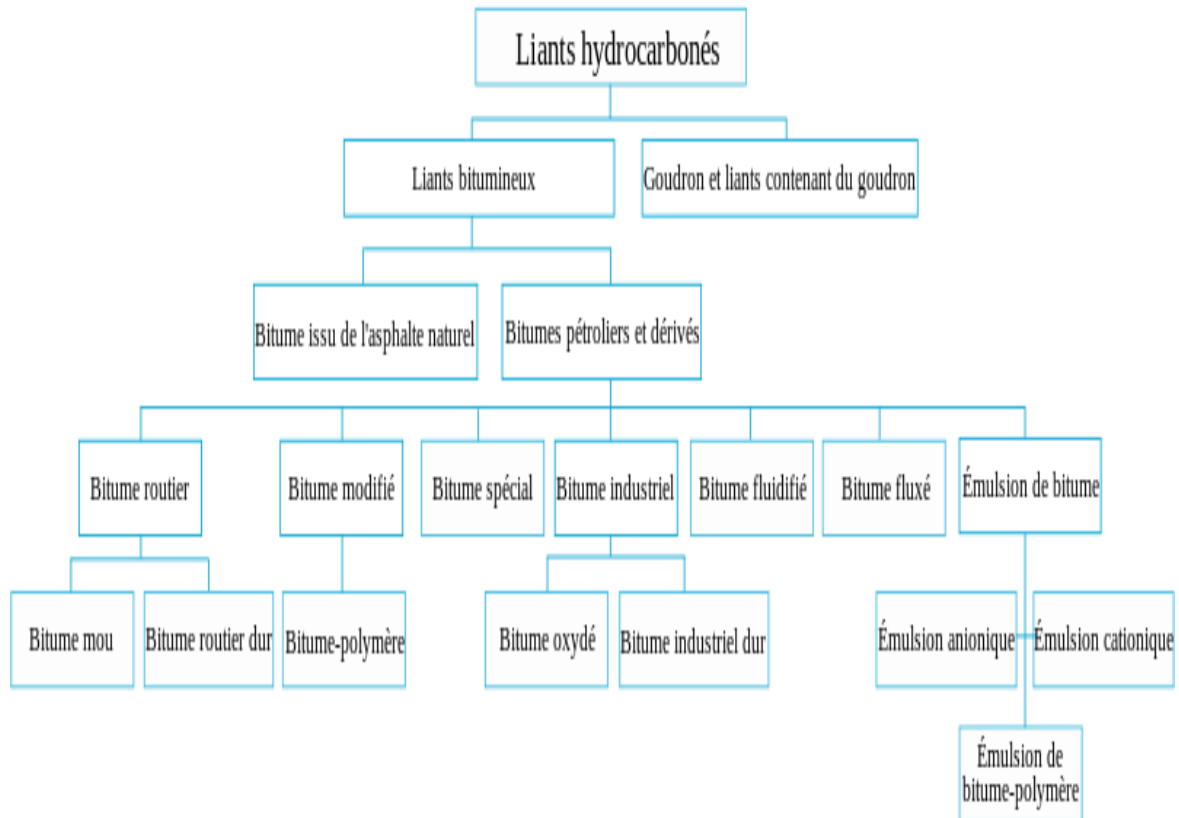
### ➤ Selon leur usage

#### Bitume routier

Bitume utilisé pour l'enrobage des granulats destinés à la construction et l'entretien des routes et des structures assimilées

## Bitume industriel

Par opposition au précédent, bitume servant à d'autres usages que la construction et l'entretien des routes et des structures assimilées



**Figure 1.1 Classification Liant hydrocarboné [3]**

## Propriétés du bitume

Le bitume possède de nombreuses propriétés dont les plus importantes sont mentionnées ci-dessous.

### Viscosité

La viscosité est une propriété physique qui caractérise l'état d'un fluide dont les molécules sont entravées dans leur déplacement par des interactions. La viscosité d'un fluide est influencée par différents facteurs et notamment la température.

### Adhésivité

Lors de l'utilisation de bitume pour la formation de chaussée, l'adhésion bitume aux granulats est l'une des principales propriétés recherchées.

### Vieillessement

La perte de bitume est certaines caractéristiques au fil du temps et la propriété de cohésion est la plus importante de ces qualités

### Cohésivité

La cohésivité est une qualité importante qui empêche le bitume de se désunir trop facilement (Capable d'allongement sans séparation)

### Essais de caractérisation des bitumes

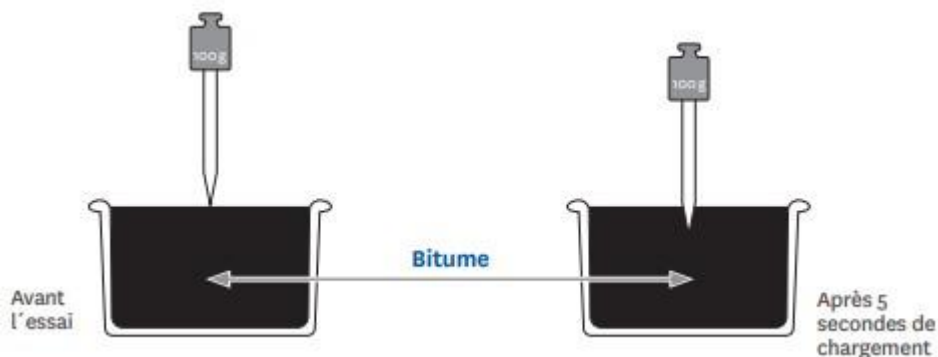
#### Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF EN 1426)

L'essai de pénétrabilité consiste à déterminer la consistance des bitumes et des liants bitumineux.

Cette méthode consiste à définir la profondeur de pénétration verticale d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai du matériau, en dixième de millimètre, dans des conditions précises

Les conditions opératoires s'appliquant aux pénétrations :

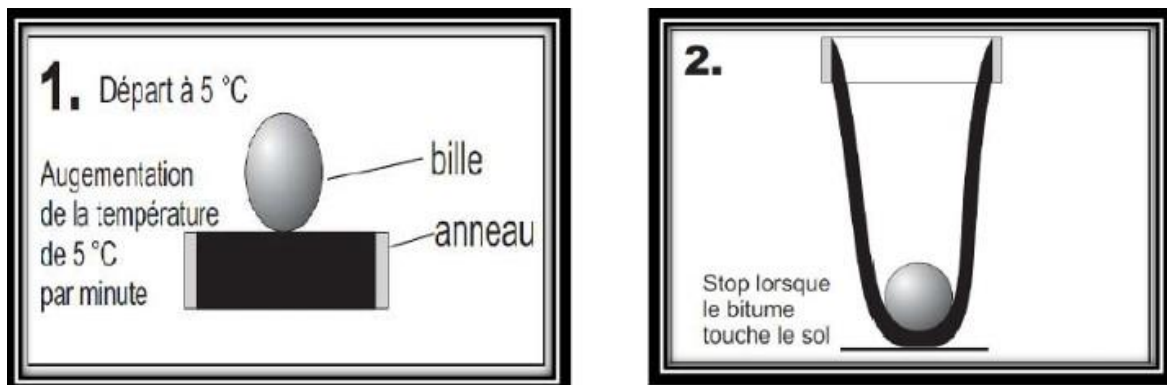
- Température fixée à 25°C
- Charge appliquée 100g
- Durée d'application de la charge fixée à 5s



**Figure 1.2** Principe de l'essai de pénétrabilité [6]

## Essai de point de ramollissement bille et anneau (NF EN 1427)

L'essai consiste à déterminer la température de ramollissement de bitume, C'est-à-dire mesure la température qui correspond à la transformation de bitume de l'état solide à l'état liquide. On remplit un anneau de cuivre par du bitume on place une bille en acier au-dessus puis on immerge le tout dans de l'eau, on élève la température de 5 °C par minute, la température de ramollissement c'est celle ou la bille entraîne le bitume se trouvant dans l'anneau au fond du récipient.



**Figure 1.3.** Principe de l'essai de point de ramollissement [7]

## Densité relative (NF EN 15326)

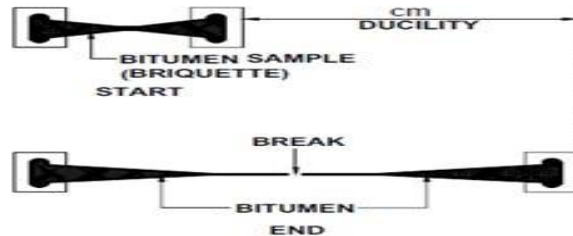
Par définition, la densité relative est la proportion de la masse de n'importe quel volume du matériau à la masse d'un volume égale d'eau, les deux étant à une température spécifiée. Ainsi, une densité relative de 1.05 signifie que le matériau est 1.05 fois plus pesant que l'eau à la température indiquée. [8]



**Figure 1.4.** Pycnomètre + bitume

**Ductilité à 25°C (NF EN 13589)**

La ductilité d'un matériau bitumineux est l'allongement d'un échantillon de bitume immergé dans un bain à une température de 25 °C et une vitesse de 50 mm/min. et ceci au moment de la rupture du filament ainsi formé.



**Figure 1.5.** Principe de l'essai ductilité [9]

**Essai de Point d'éclair (NF EN 22592)**

Le test du point d'éclair consiste à chauffer doucement un échantillon à un rythme constant d'élévation de température et avec une agitation continue. À chaque degré d'augmentation de température, une flamme est introduite dans la vapeur produite au-dessus de l'échantillon. La plus basse température à laquelle les vapeurs s'enflamment est le point d'éclair [10]



**Figure 1.6.** Appareil de l'essai point d'éclair [10]

**Essai RTFOT (NF EN 12607-1)**

Cet essai est employé pour caractériser le vieillissement des bitumes à l'enrobage. En effet, lors de la fabrication d'un enrobé, les granulats chauffés aux environs de 180°C sont mis en contact avec le bitume chaud qui répartit en film mince autour du granulat, ce contact induisant un vieillissement du liant.

Pour l'essai RTFOT, dans des conditions d'essai précises, le bitume placé en film mince, est régulièrement exposé à un flux d'air chaud dont le débit est contrôlé. On

mesure en suite les propriétés habituelles du liant : pénétrabilité et température de ramollissement bille et anneau. Ces valeurs, dites après RTFOT, sont alors comparées aux valeurs initiales. Elles sont plus proches de celles du liant extrait de l'enrobé, que celles obtenues sur le bitume d'origine [8].



**Figure 1.7.** Appareil RTFOT [11]

### 1.2.2. Granulats

Les granulats utilisés dans les enrobés peuvent être divisés en deux grandes catégories : granulats naturels en provenance de carrières, sablières et gravières et les granulats d'autre origines tels que des granulats recyclés, des sous-produits d'origine industrielle ou de granulats fabriqués pour un usage spécifique. [12]

### Rôles des granulats dans l'enrobé

Les granulats utilisés dans les enrobés en couche de roulement jouent un rôle de première importance dans le phénomène d'adhérence pneus-chaussée. Sous l'effet de la circulation,

Les granulats en surface tendent à se polir plus ou moins rapidement selon leur nature et leur composition minéralogique.

Les granulats utilisés dans la confection des enrobés bitumineux doivent donc répondre à des critères de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. [13]

### Classification des granulats

Les granulats sont classifiés en différentes classes granulaires selon la taille des éléments. Une classe granulaire ( $d/D$ ) est répertoriée par la taille du plus petit grain «  $d$  » et du plus gros grain «  $D$  » ; la taille est exprimée en millimètre. Il est admis qu'une fraction granulaire peut comporter jusqu'à 15% de matériaux excédentaires supérieurs.

**On peut distinguer les classes granulaires suivantes :**

- Les fines 0/D avec  $D \leq 0,080$  mm
- Les sables 0/D avec  $D \leq 6,6$ mm
- Les gravillons d/D avec  $d \geq 2$  mm et  $D \leq 31,5$  mm
- Les cailloux d/D avec  $d \geq 20$  mm et  $D \leq 80$  mm
- Les graves 0/D avec  $6,3\text{mm} < D \leq 80$  mm ❖ **Filler d'apport :**

Le filler est constitué des éléments très fins, de diamètre inférieur à 80 microns. Il provient du dépoussiérage de granulats ou de production industrielle par mouture de roche, ces fillers à une surface spécifique très élevée et il absorbe une part importante du liant. [13]

Le mélange du filler avec le liant constitue le mastic qui confère sa stabilité à l'enrobé, et l'épaisseur du film de mastic est caractérisée par un critère s'appelle le module de richesse. [13]

La propreté du filler, en particulier sa faible teneur en argile, est primordiale afin de garantir un bon comportement mécanique. [13]

L'arrangement des différentes classes granulaires forme la courbe granulométrique d'un mélange bitumineux [13]

### 1.3. CLASSIFICATION DES ENROBES BITUMINEUX:

On distingue de nombreux types de béton bitumineux, chacun avec ses caractéristiques propres

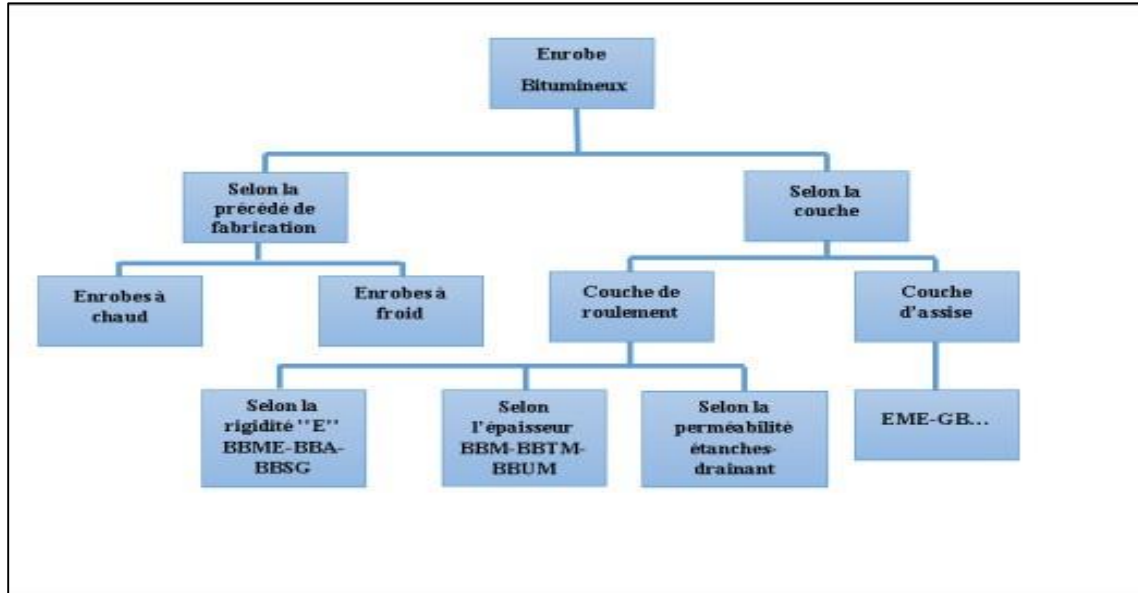


Figure 1.8. Différent types d'enrobés bitumineux [13]

#### 1.3.1. Béton bitumineux (BB)

Le béton bitumineux (BB) est un mélange à granularité continue se composant de gravillons, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels.

Ils sont destinés essentiellement pour la réalisation des couches de roulement et de liaison. Ils ont une granulométrie 0/10, 0/14 et contiennent généralement une teneur en liant élevée ( $\geq 5\%$ )

#### 1.3.2. Grave bitume (GB)

Ils sont destinés essentiellement pour la réalisation des couches de base et fondation. Ils ont une granulométrie 0/14, 0/20 et contiennent 4 à 4,5% de bitume

#### 1.3.3. Sable bitumineux

Le sable bitume est un mélange d'un ou plusieurs sables avec du bitume pur. Généralement, le mélange nécessite l'ajout de fines provenant soit des matériaux de Concassage – broyage (sable fileries, fines calcaires), soit des pulvérulents industriels (chaux, ciment).

**1.3.4. Béton bitumineux mince (BBM)**

Possède une granulométrie de 0/10 ou 0/14. Ce béton bitumineux est facilement compactable et est parfaitement imperméable. Principalement utilisé pour les parkings ou les trottoirs, son épaisseur varie de 2.5 à 5 cm. [14]

**1.3.5. Béton bitumineux très mince (BBTM)**

C'est sans doute l'enrobé le plus intéressant en termes de rapport qualité-prix. En effet, il dispose d'une très bonne durée de vie ainsi que d'une facilité de mise en œuvre. Quelle que soit la granulométrie (0/10 ou 0/6), le BBTM dispose d'une épaisseur comprise entre 1.5 et 3 cm. [14]

**1.3.6. Béton bitumineux ultra mince (BBUM)**

Destiné à une couche de roulement, c'est-à-dire en contact direct avec les pneumatiques des véhicules. Son épaisseur pourra être déterminée en tenant compte du Trafic écoulé et de son module de déformation expérimenté. [14]

**1.3.7. Béton bitumineux souple (BBS)**

Comme son nom l'indique, ce béton est constitué d'un bitume assez mou pour obtenir un enrobé déformable. Cependant, il possède une faible résistance à l'orniérage. [14]

- **Béton bitumineux drainant (BBDR)**

L'avantage principal de ce type de béton bitumineux réside dans son excellente adhérence, aussi bien par temps de pluie ou de forte chaleur. De plus, il réduit le bruit de roulement. Pour une allée de jardin, il est alors parfaitement adapté. [14]

**1.3.8. Béton bitumineux semi-grenu (BBSG)**

Celui-ci est l'enrobé à chaud de référence. En effet, il répond à de nombreux besoins (Trottoir, allée...) et est très adapté pour un trafic aussi bien moyen que lourd. Son épaisseur varie de 3 à 9 cm, suivant la granulométrie. [14]

### 1.3.9. Bétons bitumineux à module élevé (BBME)

Le cas de notre étude, les BBME sont obtenus à partir d'un mélange de bitume pur ou modifié, de granulats fabriqués dans une centrale d'enrobage. Ils se caractérisent par un module de rigidité « E » plus élevé que les enrobés classiques et par une bonne tenue à l'orniérage. Destinés aux couches de roulement des routes nationales et régionales empruntées par un trafic moyen et dense. Les BBME permettent une meilleure résistance à l'orniérage. Ils s'appliquent sur des épaisseurs de 5 à 7 cm pour les BBME 0/10 et 6 à 9 cm pour les BBME 0/14. [CTTP ; 2004]

## 1.4. ETUDE DE FORMULATION

La formulation d'un mélange bitumineux consiste à déterminer la combinaison optimale de granulats de différentes tailles et d'un liant (bitume) pour obtenir les performances requises : imperméabilité, rugosité et résistance mécanique (à la fissuration et à la fatigue). L'objectif de ce mélange est donc de déterminer la formulation optimale après mélange de différents types de granulats afin de former une structure granulaire avec un ratio de liant approprié offrant le meilleur résultat.. [5]

### I.4.1. Composition granulométrique [15]

Les enrobés bitumineux doivent répondre à certaines règles de composition granulométrique que l'on résume sous forme de fuseaux à l'intérieur desquels la courbe granulométrique du mélange considéré peut se déplacer. L'étude de la composition granulométrique de l'enrober comporte deux étapes :

- La forme de la courbe (continuité)
- Son état de compactage (nature et intensité du compactage).

La composition granulométrique du mélange devra être, selon le type d'enrobé, à l'intérieur des fourchettes données dans le tableau suivant :

**Tableau I.1.**Granulométrie du mélange

| Tamis (mm) | Béton bitumineux 0/14 |     | Grave bitume /20 |     |
|------------|-----------------------|-----|------------------|-----|
|            | Min                   | Max | Min              | Max |
|            |                       |     |                  |     |

|      |    |     |    |     |
|------|----|-----|----|-----|
| 20   | -  | -   | 85 | 100 |
| 14   | 94 | 100 | -  | -   |
| 10   | 72 | 84  | 65 | 75  |
| 6.3  | 50 | 66  | 45 | 60  |
| 2    | 28 | 40  | 25 | 40  |
| 0.08 | 7  | 10  | 6  | 9   |

#### I.4.2. Teneur en liant

La teneur en liant à retenir est définie à partir d'une étude de laboratoire qui consiste à choisir à partir d'un granulat simple ou composé entrant dans le fuseau recommandé. Elle sera fonction de la surface spécifique des granulats selon la formule suivante

$$\text{Teneur en liant} = K \times \alpha \times \sqrt[5]{\Sigma}$$

**K** : module de richesse pouvant prendre les valeurs suivantes :

- 2 à 2,9 pour les Graves bitumes (GB)
- 3,3 à 3,9 pour un Béton bitumineux (BB)

**$\alpha$**  : coefficient correcteur destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats (MVRg)

$$\alpha = \frac{2.65}{MVRg}$$

Avec :

$$MVRg = \frac{8/15\% + 3/8\% + 0/3\%}{\frac{8/15\%}{MV(8/15)} + \frac{3/8\%}{MV(3/8)} + \frac{0/3\%}{MV(0/3)}}$$

**$\Sigma$**  : La surface spécifique du granulat est calculée par la formule :

$$100\Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f \text{ en } (m^2/kg)$$

- G : pourcentage des éléments de dimensions supérieur à 6,30 mm

- S : pourcentage des éléments de dimensions comprises entre 6,30 et 0,315 mm
- s : pourcentage des éléments de dimensions comprises entre 0,315 mm et 0,08 mm
- f : pourcentage des éléments de dimensions inférieurs à 0,08mm

## 1.5. ESSAIS SUR LES ENROBÉS BITUMINEUX

### 1.5.1. Essai Marshall (NF EN 12697-34)

Essai réalisé en laboratoire pour la formulation d'enrobés bitumineux à chaud. L'essai consiste à presser des éprouvettes du mélange dans un moule cylindrique qui permet de déterminer la

« Stabilité », le « fluage » et « pourcentage de vide » des éprouvettes de mélange.



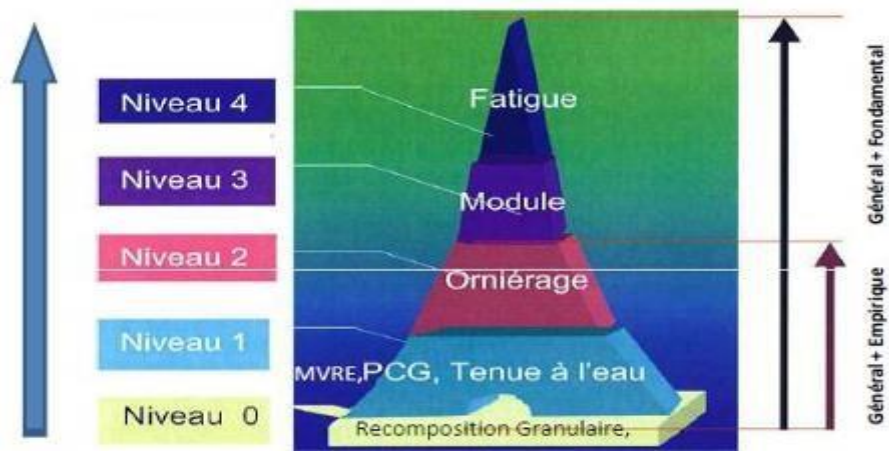
**Figure 1.9.** Presse Marshall [16]

### 1.5.2. Niveaux d'épreuves de formulation des enrobés

Des mélanges préparés au laboratoire a différents dosages en liant (autour des dosages Calculés), seront soumis aux différents essais au but de déterminer leurs performances Mécaniques selon les quatre niveaux d'étude de formulation.

- Niveau 1 : Pourcentage de vides à la Presse à Cisaillement Giratoire (PCG), Tenue à l'eau du mélange (DURIEZ)
- Niveau 2 : niveau 1 + Essai d'orniérage.
- Niveau 3 : niveau 2 + Module de Rigidité.

- Niveau 4 : niveau 3 + Résistance à la fatigue.



**Figure 1.10.** niveaux d'épreuves de formulation des enrobés. [7]

#### I.5.2.1 Essai duriez (NF EN 12697-12)

Cet essai permet de connaître la tenue à l'eau d'un enrobé à chaud exprimé par un rapport des résistances à la compression avec immersion dans l'eau et à sec. Cet essai consiste à confectionner 12 petits moules cylindriques d'enrobés : 2 destinés à mesurer la masse volumique à la pesée hydrostatique. 5 conservés 7 jours à l'eau. Et 5 conservés 7 jours à l'air.

Après ce temps les éprouvettes sont écrasées dans une presse hydraulique.



**Figure 1.11.** Machine d'essais universelle électromécanique de 200 KN [17]

### I.5.2.2 Essai Presse à Cisaillement Giratoire (NF EN 12697-31)

L'essai de compactage à la PCG est une combinaison d'un cisaillement giratoire et d'une force résultante axiale appliquée par une tête mécanique. On mesure la hauteur  $h$  de l'éprouvette à chaque giration, ce qui permet de déterminer le pourcentage des vides et la compacité de l'enrobé et de représenter graphiquement la variation de compacité en fonction de l'énergie de compactage (ou nombre de girations).



**Figure 1.12.** Compacteur giratoire [18]

### I.5.2.3. Essai d'orniérage (NF EN 12697-22)

Cet essai est très important pour les routes très circulées grand trafic (trafic lourds) et avec un pourcentage de poids lourds assez élevé, il permettra de simuler au laboratoire la résistance de l'enrobé à l'orniérage.

On détermine la profondeur de l'ornière au passage répété d'un pneumatique, selon l'épaisseur de l'enrobé on confectionne une plaque de 5 ou 10 cm qu'on lui fait subir une énergie de compactage normalisée à 60°C, plusieurs cycles sont appliqués 1000, 3000, 10 000, 30 000, 100 000 le résultat (profondeur d'ornière) est comparé à la norme.

[19]



**Figure 1.13.** Machine d'orniérage (orniéreur) [18]

#### I.5.2.4 Essai Module de Rigidité (NF EN 12697-26)

Ce test est réalisé pour caractériser la performance mécanique des mélanges hydrocarbonés. Il s'agit de mesurer le module de l'enrobé bitumineux en fonction de la fréquence et de la température. Utilisée pour le dimensionnement des chaussées.



**Figure 1.14.** Module de rigidité d'enrobé [20]

#### I.5.2.5. Essai de Fatigue (NF EN 12697-24)

Cet essai s'effectue par mise en flexion d'une éprouvette trapézoïdale d'enrobé, à température constante. L'éprouvette étant encastrée à sa grande base, on applique à l'extrémité libre des déplacements alternatifs sinusoïdaux d'amplitude constante et à n'enregistre la force correspondante. La durée de vie est définie conventionnellement par le nombre de cycles qu'il faut appliquer jusqu'à ce que la force nécessaire au déplacement d'amplitude constante soit divisée par deux. Pour les études courantes, l'essai s'effectue à 10°C, 25 Hz avec trois niveaux de déformation. Le résultat est exprimé par la déformation admissible pour une durée de 106 cycles ( $10^6$ ). [19]



**Figure 1.15.** Machine de fatigue [18]

## **1.6. Conclusion**

Comme nous avons vu précédemment le béton bitumineux est constitué de deux éléments Principaux (les granulats et le bitume).

Ces deux éléments sont responsables de la capacité du mélange à résister aux charges de trafic et aux facteurs climatiques.

# Chapitre 2: Notions sur le module de rigidité

## 2.1. Introduction

Ce chapitre s'intéresse à la « rigidité » des enrobés bitumineux, une caractéristique exprimée par leur « module de rigidité », et aux méthodes de détermination du module de rigidité. Parmi ces méthodes, une ont été choisies pour estimer le module de rigidité du béton bitumineux, c'est la méthode traction indirect ou compression diamétrale.

La rigidité des enrobés bitumineux dépend de plusieurs facteurs comme : la vitesse de chargement, la température, le type de bitume, la teneur en humidité du bitume, l'état de contrainte, les agrégats, les fines, la présence d'eau dans le mélange, les vides, l'âge du mélange, les éventuels aditifs ou produit ajoutés au mélange. A une température donnée et sous un chargement lent, le béton bitumineux se déforme lentement et les déformations sont de type permanent.

## 2.2. Essais de rigidité normalisés [EN 12697-26, 2012]

Accepte plusieurs méthodes de détermination du module de rigidité des enrobés bitumineux, schématisés dans la figure III.1. Il s'agit de l'essai de flexion en deux points sur éprouvettes trapézoïdales (2PB-TR) ou prismatiques (2PB-PR), l'essai de flexion en trois points sur éprouvettes prismatiques (3PB-PR), l'essai de flexion en quatre points sur éprouvettes prismatiques (4PB-PR), l'essai de traction indirecte sur éprouvettes cylindriques (IT-CY), l'essai de traction-compression directe sur éprouvettes cylindriques (DTC-CY) et l'essai de traction directe sur éprouvettes cylindriques (DT-CY) ou prismatiques (DT-PR). Parmi ces essais, l'essai de flexion en deux points 2PB-TR, l'essai de traction directe DT-CY et l'essai de traction indirecte IT-CY sont les plus fréquemment employés en Algérie.

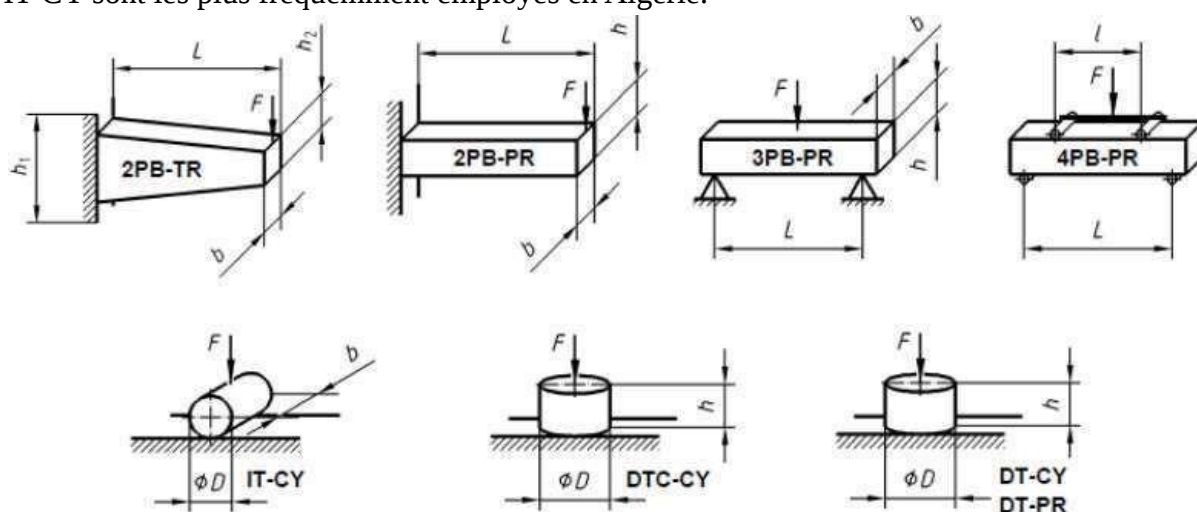


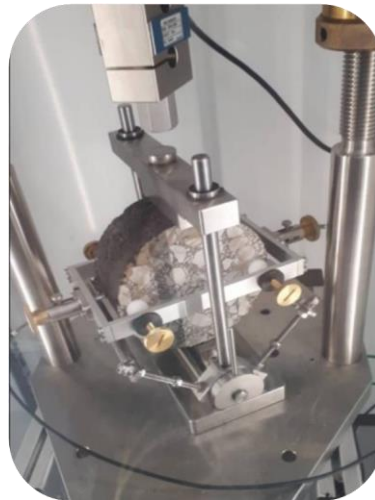
Figure 2.1. Plusieurs méthodes de module de rigidité

## 2.3. Essai de Traction indirect IT-CY

### 2.3.1. Principe :

L'essai de rigidité en compression diamétrale ou traction indirecte (IT-CY) consiste en l'application d'une charge le long du diamètre vertical d'une éprouvette cylindrique et la mesure de la déformation diamétrale horizontale transitoire de l'éprouvette pendant l'application de la charge.

La mesure de la déformation est faite à l'aide d'un capteur de déformation de type LVDT, placé autour de l'éprouvette et fixé à l'aide de deux bandes de chargement en acier. Le principe de l'essai est schématisé dans la (**Photo 2.1**).



**Photo 2.1:** Essai traction indirect.

### 2.3.2. Appareillage :

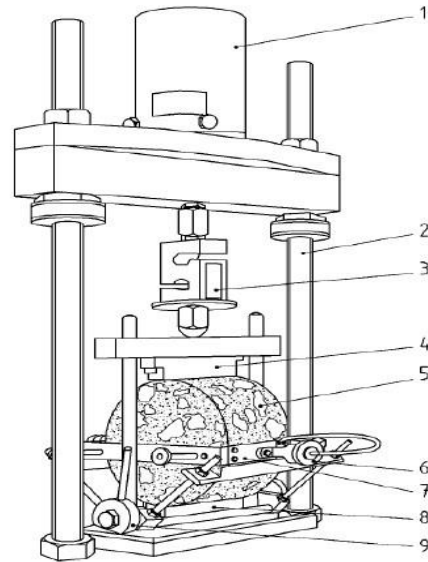
- **Thermomètre ou capteurs de résistance en platine** : d'une étendue de mesure adaptée capables de mesurer à  $\pm 0.1$  °C la température de l'éprouvette et des conditions de stockage et d'essai.
- **Règle en acier** : avec des graduations de 1mm.
- **Pieds à coulisse externes** : capables de mesurer  $\pm 0.1$ mm.
- **Plaque de verre ou d'acier** : Avec un état de la surface supérieure de la plaque ne dévient pas en planéité d'une tolérance supérieure à 0.05 mm sur la largeur de la plaque.
- **Support** : capable de maintenir un cylindre du matériau d'essai lors du découpage des éprouvettes.
- **Scie** : capable de couper et d'ajuster des éprouvettes aux dimensions requise.
- **Cadre de chargement en acier**
- **Deux Bandes de chargement** : supérieur et inférieur en acier inoxydable. La face en contact avec l'éprouvette doit être concave et occuper la hauteur entière de l'éprouvette. Les bords des bandes de chargement doivent être arrondis pour éviter

de marquer l'éprouvette pendant les essais. Un moyen pour centre la platine inférieure par rapport à l'axe de charge du cadre de chargement en acier doit être fournie. La platine supérieure doit entrer en contact avec le système de chargement par une rotule (voir annexe D).



**Photo. 2.2:** Equipment d'essai

1. Réglage LVDT
2. Châssis de montage LVDT
3. Platine de chargement inférieur
4. Châssis d'alignement



**Figure 2.2.** Equipment d'essai

5. Vérin de chargement
6. Cadre de chargement en acier
7. Peson
8. Platine de chargement supérieur
9. Epreuve soumise à essai

**Tableau.2.1.** Dimensions des bandes de chargement.

| Diamètre d'éprouvette nominal (mm) | Largeur bande de chargement (mm) | Profondeur nominale de la concavité (mm) |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|
| 80                                 | $10 \pm 1$                       | $0.3 \pm 0.05$                           |
| 100                                | $12 \pm 1$                       | $0.4 \pm 0.05$                           |
| 120                                | $15 \pm 1$                       | $0.5 \pm 0.05$                           |
| 150                                | $19 \pm 1$                       | $0.6 \pm 0.05$                           |
| 200                                | $25 \pm 1$                       | $0.8 \pm 0.05$                           |

### 2.3.3. Mode d'opérateur

Les éprouvettes cylindriques doivent avoir une épaisseur comprise entre 30 mm et 75 mm et un diamètre nominal 80 mm, 100mm, 120 mm, 150 mm ou 200mm. Les deux dimensions doivent être choisies par rapport à la dimension maximale nominale du mélange.

A l'aide d'un marqueur adapté, dessinez un diamètre sur l'une des faces plates de l'éprouvette. Un second diamètre doit être dessiné à  $(90 \pm 10)^\circ$  du premier. Les deux diamètres doivent être repérés de manière adaptée.

Un nombre minimum de 10 impulsions de chargement répétées est appliqué avec des périodes de repos à l'aide du vérin de chargement. La norme européenne [EN 12697-26, 2012] prévoit un temps de montée en charge ou un temps nécessaire à l'application de la charge pour passer de zéro à la valeur maximale de  $124 \text{ ms} \pm 4 \text{ ms}$ .

La charge appliquée doit être mesurée, à l'aide d'un peson avec une exactitude de 2 %. La période de répétition des impulsions (Fig. III.4) doit être de  $(3,0 \pm 0,1) \text{ s}$ .

1. Valeur crête de la charge ;
2. Période de répétition d'impulsions ;
3. Temps de montée.

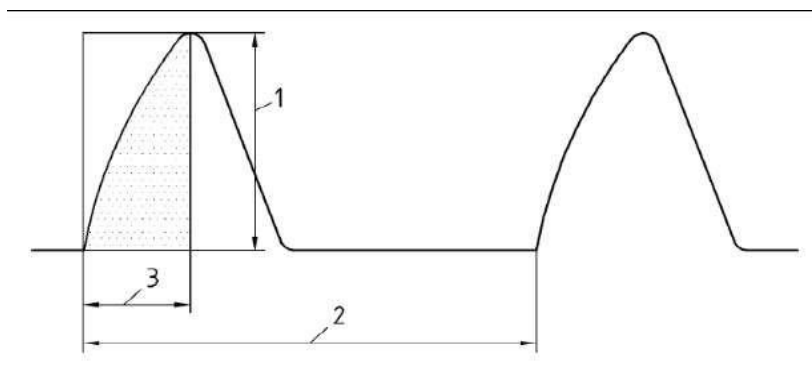


Figure 2.3. Forme de l'impulsion de chargement

### 2.3.4. Condition de stockage

Si la période de stockage est inférieure à 4 jours, la température de stockage ne doit pas dépasser  $25^\circ\text{C}$ . Pour un stockage supérieur à 4 jours, la température ne doit pas dépasser  $15^\circ\text{C}$ . Les températures et les durées de stockage doivent être consignées. Les éprouvettes doivent être stockées sur une face plate et ne doivent pas être empilées (voir annexe D).

### 2.3.5. Mesure de rigidité

Si nécessaire, les appareils de mesure de déformations doivent être réglés approximativement dans la partie centrale de leurs étendues de fonctionnement. Cinq impulsions de chargement supplémentaires doivent être appliquées à l'éprouvette et, pour chaque application d'impulsion de chargement, la variation de la déformation diamétrale horizontale et de la charge appliquée dans le temps doit être mesurée et consignée, et le facteur de surface de charge déterminé (voir annexe D).

### 2.3.6. Mesure de la déformation

L'éprouvette doit être démontée de l'appareillage d'essai, tournée de  $(90 \pm 10)^\circ$  autour de son axe horizontal et remontée.

- Si la valeur moyenne du module de rigidité de cet essai est entre +10% et -20% de la valeur moyenne enregistrée pour le premier essai, la moyenne pour les deux essais doit être calculée et notée en tant que module de rigidité de l'éprouvette.
- Si la différence entre les deux valeurs est supérieure à celle spécifiée ci-dessus, les résultats doivent être rejetés.

A la fin de l'essai, aucun essai supplémentaire sur l'éprouvette de cette norme ne doit être effectué pendant 24 h (voir annexe D (C.4.3.4.4)).

## 2.4. Conclusion

L'étude de module de rigidité, nous permet d'évaluer l'ensemble des performances d'un enrobé bitumineux pour nous permettre de se prononcer sur la qualité d'enrobé et sa durabilité et pour calculer le dimensionnement le corps de chaussé.

## **Partie II**

# Chapitre 3: Matériaux et procédures d'essais

---

## 3.1. Introduction

Ce chapitre vise à présenter les matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que leurs propriétés obtenues grâce à des essais en laboratoire, afin de formuler du béton bitumineux a module élevé (BBME).

## 3.2. CARACTIRISTIQUE DES AGRÉGATS

Les agrégats utilisés dans notre étude pour obtenir du béton bitumineux 0/14 est (0/3, 3/8,8/15) de carrière d'Ain Touta (wilaya de Batna). Ont été soumis aux essais et analyses au laboratoire pour déterminer leurs caractéristiques.

### 3.2.1. Analyse Granulométrique (NF P 18-560)

L'analyse granulométrique est la détermination de la répartition du poids des particules de matériau en fonction de leurs dimensions par criblage. Les grains de matériau sont séparés en plaçant l'échantillon pesé dans une colonne de tamis, avec les tamis de plus petit diamètre en bas et les tamis de plus grand diamètre en haut, et en les recouvrant pour empêcher la poussière de voler.

Ensuite, la tour du tamis est secouée avec une série de vibrations pour répartir l'échantillon sur les tamis.



**Photo 3.1** Tamiseuse

Les tableaux (Tableau III .1. Tableau III .2) regroupent les résultats d'essai analyse granulométriques obtenus.

**Tableau 3.1.** Résultats de l'analyse granulométrique des agrégats

| Overture (mm) | Tamisat (%) |      |      |
|---------------|-------------|------|------|
|               | 8/15        | 3/8  | 0/3  |
| 20            | 99.7        | 100  | 100  |
| 16            | 93.8        | 100  | 100  |
| 14            | 79.6        | 100  | 100  |
| 12.5          | 60.3        | 100  | 100  |
| 10            | 20.1        | 100  | 100  |
| 8             | 4.4         | 97.5 | 100  |
| 6.3           | 1.5         | 44   | 100  |
| 5             | 0           | 10   | 99   |
| 4             | 0           | 2    | 97   |
| 2             | 0           | 0.67 | 73   |
| 1             | 0           | 0    | 57   |
| 0.5           | 0           | 0    | 39   |
| 0.325         | 0           | 0    | 31   |
| 0.125         | 0           | 0    | 22   |
| 0.08          | 0           | 0    | 15.5 |

□ Les courbes granulaires de chaque classe

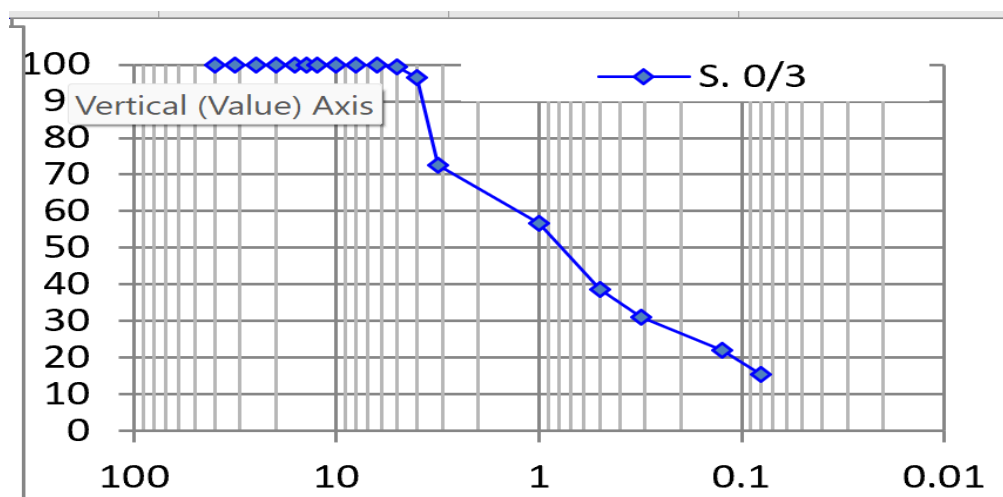


Figure 3.1. Courbe granulométrique du sable 0/3

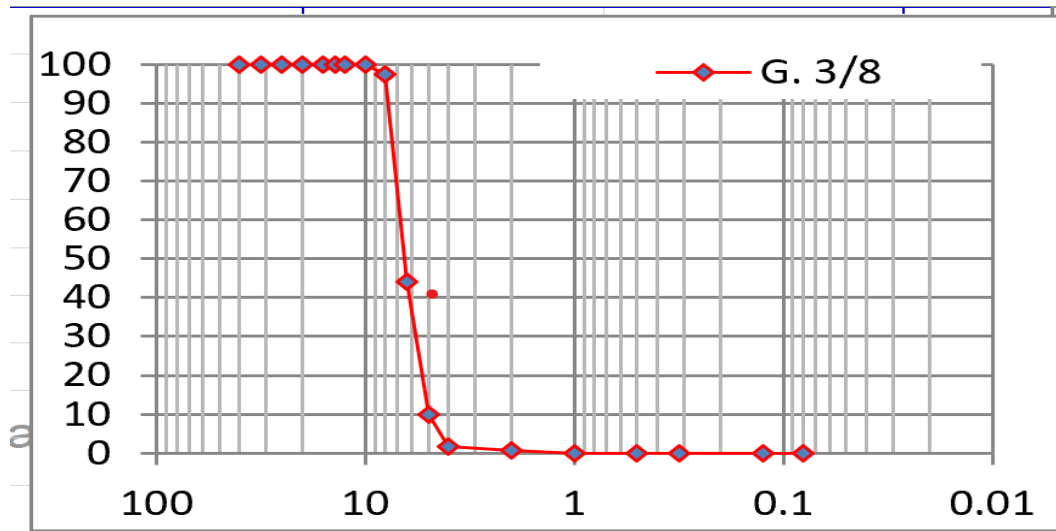


Figure 3.2 Courbe granulométrique du gravier 3/8

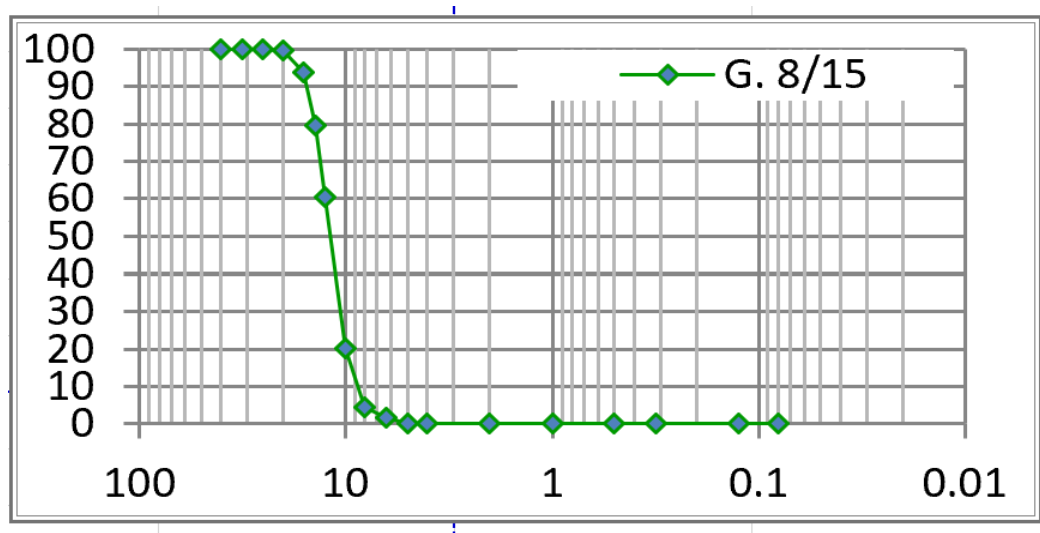


Figure 3.3. Courbe granulométrique du gravier 8/15

### 3.2.2. Mesure du coefficient d'aplatissement (NF P 18-561)

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme des granulats, les granulats plats ne sont généralement pas utilisés dans le béton ou le béton bitumineux.

Le principe d'essai consiste à Tamiser le refus de chaque classe granulaire obtenue par essai analyse granulométrique précédente sur grille dont l'écartement  $E$  entre les barres est défini par le tableau Tableaux III .3.

$$AP = \frac{\sum M_e}{\sum M_g} \times 100$$

$\sum M_e$  : la somme des poids passants à travers la grille à fente.

$\sum M_g$  : la somme des poids de refus partiel



**Figure 3.4.** Grilles à fonte

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant

**Tableaux 3 .2.** Résultats de coefficient d'aplatissement

|         |     |      |                               |
|---------|-----|------|-------------------------------|
| Gravier | 3/8 | 8/15 | Spécification<br>(XP P18-545) |
| A (%)   | 13  | 10   | $\leq 25$                     |

### 3.2.3. Propriété superficial (NF P 18-554)

C'est le pourcentage en poids de particules inférieures à 0,5 mm qui adhèrent à la surface des granulats de taille supérieure à 2 mm

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant

**Tableaux 3.3.** Résultats propriété superficiel

|         |      |      |                |
|---------|------|------|----------------|
| Gravier | 3/8  | 8/15 | Recommandation |
| P (%)   | 0.75 | 0.60 | $\leq 1$       |

**3.2.4. Essai los Angeles (NF P 18-573)**

Le test de Los Angeles est une méthode permettant de déterminer la résistance aux chocs des granulats

En mesurant la quantité d'objets inférieurs à 1,6 mm produits en soumettant le matériau à des impacts sphériques uniformes et à un frottement mutuel dans un tambour rotatif (500 tours à une vitesse uniforme de 31 à 33 tr/min). Le coefficient de Los Angeles est exprimé par la formule suivante :

$$LA = \frac{5000 - m}{5000} \times 100$$

LA : Coefficient de Los Angeles

$m$  : Masse du refus sur tamis 1.6 mm

**Figure 3.5.** Machine los Angeles

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant

**Tableaux 3.4.** Résultats Essai los Angeles

|         |        |       |                               |
|---------|--------|-------|-------------------------------|
| Gravier | 3/8    | 8/15  | Specification<br>(XP P18-545) |
| Classe  | 6.3/10 | 10/14 |                               |
| LA (%)  | 16     | 15    | $\leq 25$                     |

**3.2.5. Essai de Micro-Deval (NF P 18-572)**

Le test Micro-Deval est une méthode pour déterminer la résistance à l'usure des granulats

En mesurant la quantité d'objets de taille inférieure à 1,6 mm qui sont produits en exposant les granulats à un frottement mutuel dans un cylindre en rotation (12 000 tours à une vitesse uniforme de 100 tours par minute) pendant deux heures avec 2,5

litres d'eau, on appelle cela l'essai du Micro-Deval humide. Le coefficient micro-Duval s'exprime par la formule suivante

$$\text{MDE} = \frac{500 - m}{500} \times 100$$

MDE: Coefficient micro-Duval

$m$ : Masse du refus sur tamis 1.6 mm



**Photo 3.2.** Machine micro deval

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant

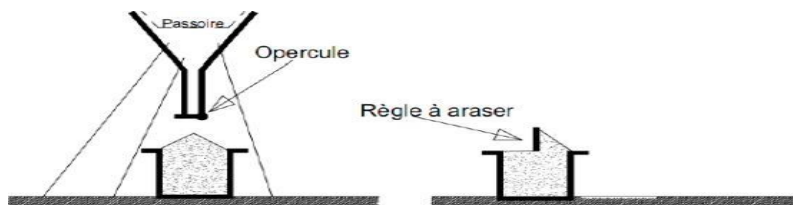
**Tableaux 3.5.** Résultats essai micro deval

|         |        |       |                               |
|---------|--------|-------|-------------------------------|
| Gravier | 3/8    | 8/15  | Spécification<br>(XP P18-545) |
| Classe  | 6.3/10 | 10/14 |                               |
| MDE(%)  | 15     | 14    | $\leq 20$                     |

### 3.2.6. Masse volumique (NF P 18-554)

#### a) Masse volumique apparent

La masse volumique apparente ( $\rho_{app}$ ) d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. Il est généralement exprimé ( $g/cm^3$  ou  $kg/m^3$ ,  $t/m^3$ ..)



**Figure 3.6.** Masse volumique apparent

$$\rho_{app} = \frac{M}{V_a}$$

$\rho_{app}$  : la masse volumique apparent ( $g/cm^3$ )

M : la masse de l'échantillon (g)

$V_a$  : volume apparent de l'échantillon ( $cm^3$ )

### b) Masse volumique absolu

La masse volumique absolue ( $\rho_s$ ) est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Il est généralement exprimé ( $g/cm^3$  ou  $kg/m^3$ ..)



**Figure 3.7.** Masse volumique absolu

$$\rho_s = \frac{M2}{M1 + M2 - M3}$$

$\rho_s$  : la masse volumique absolu

( $g/cm^3$ ) M1 : poids de récipient plein

d'eau (g)

M2 : poids sec d'échantillon en (g)

M3 : poids de récipient + échantillon + eau en (g)

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant

**Tableaux 3.6.** Résultats de masse volumique apparent et absolu

|                      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|
| Echantillon          | 0/3  | 3/8  | 8/15 |
| $\rho_{abs}(g/cm^3)$ | 2.68 | 2.70 | 2.70 |

### 3.2.7. Équivalent de sable (NF P 18-597)

L'essai équivalent sable vise à déterminer les matières fines et argileuses présentes dans le sol et à déterminer son aptitude à l'emploi, L'essai est réalisé sur une fraction de sable passant au tamis 2mm.

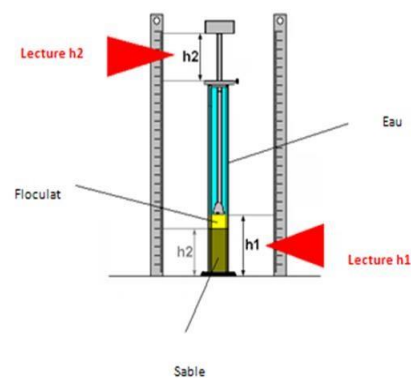
Le coefficient d'équivalent de sable est exprimé par la formule suivante :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

$ES$ : Coefficient d'équivalent de sable

$h_2$ : Hauteur de sédiment

$h_1$ : Hauteur de sédiment + floculat

**Figure 3.8.** Équivalent de sable

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant

**Tableaux 3.7.** Résultats d'équivalent de sable

| Echantillon | Sable concasse (0/3) | Specification<br>(XP P18-545) |
|-------------|----------------------|-------------------------------|
| ES (%)      | 64                   | $\geq 60$                     |

### 3.3. CARACTÉRISTIQUE DU LIANT UTILISÉ

Le liant utilisé est un bitume 40/50 Le bitume utilisé est ramené de l'unité NAFTAL (ouargla). Trois essais d'identification ont été réalisés sur ce bitume dans le laboratoire LTPS, ces essais sont respectivement :

- Pénétrabilité (1/10 mm)
- Point de ramollissement (°C)
- Densité ( $g/cm^3$ )

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant

**Tableau 3.8.** Résultats des essais de bitumes

| Essai                        | Résultat | Recommandation | Norme de référence |
|------------------------------|----------|----------------|--------------------|
| Pénétrabilité (1/10 mm)      | 45       | 40-50          | NF T 66-004        |
| Point de ramollissement (°C) | 51       | 47-60          | NF T 66-008        |
| Densité ( $g/cm^3$ )         | 1.03     | 1.00 -1.10     | NF T 66-007        |

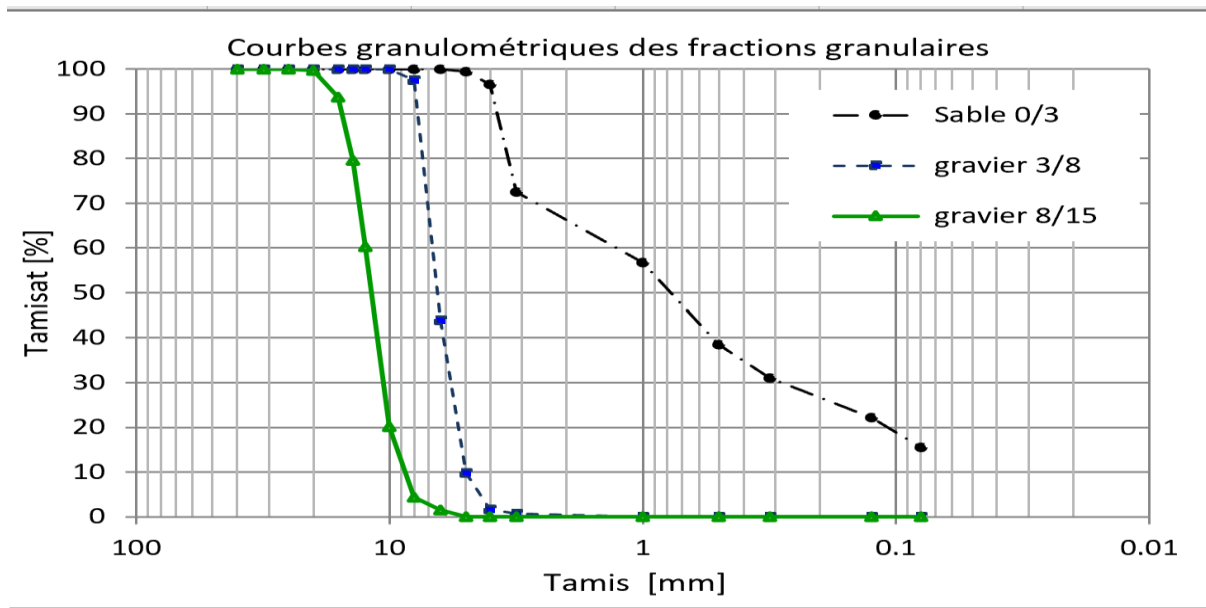
### 3.4. ETUDE DE FORMULATION

#### 3.4.1. Composition granulaire

Nous avons choisi d'étudier un béton bitumineux semi grenu BBSG de classe granulaire 0/14

Il s'agit d'un mélange composé des trois classes granulaires : 0/3, 3/8 et 8/15, à partir des

Courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies



### 3.4.2. Détermination de mélanges proposé:

Le mélange proposé est calculé par la formule suivante :

$$\text{Mélange proposé} = \frac{\text{Tamisé} \times \text{pourcentage de granulat}}{100}$$

**Tableau 3.9.** Granulométrie du mélange 0/14

| Tamis | (0/3) | (0/3)<br>42 % | (3/8) | (3/8)<br>31% | (8/15) | (8/15)<br>27 % | Mélange<br>proposé |
|-------|-------|---------------|-------|--------------|--------|----------------|--------------------|
| 25    | 100   | 42            | 100   | 31           | 100    | 27             | 100                |
| 20    | 100   | 42            | 100   | 31           | 99.70  | 26.92          | 99.92              |
| 16    | 100   | 42            | 100   | 31           | 93.80  | 25.33          | 98.33              |
| 14    | 100   | 42            | 100   | 31           | 79.60  | 21.49          | 94.49              |
| 12.5  | 100   | 42            | 100   | 31           | 60.30  | 16.28          | 89.28              |
| 10    | 100   | 42            | 100   | 31           | 20.10  | 5.43           | 78.43              |
| 8     | 100   | 42            | 97.50 | 30.23        | 4.40   | 1.19           | 73.41              |
| 6.3   | 100   | 42            | 44    | 13.64        | 1.50   | 0.41           | 56.05              |
| 5     | 99.49 | 41.79         | 9.83  | 3.05         |        |                | 44.83              |
| 4     | 99.56 | 41.82         | 1.67  | 0.52         |        |                | 42.34              |
| 2     | 72.50 | 30.45         | 0.67  | 0.21         |        |                | 30.66              |
| 1     | 56.79 | 23.85         |       |              |        |                | 23.85              |
| 0.5   | 38.53 | 16.18         |       |              |        |                | 16.18              |
| 0.315 | 30.96 | 13            |       |              |        |                | 13                 |
| 0.125 | 22.14 | 9.30          |       |              |        |                | 9.30               |
| 0.08  | 15.51 | 6.51          |       |              |        |                | 6.51               |

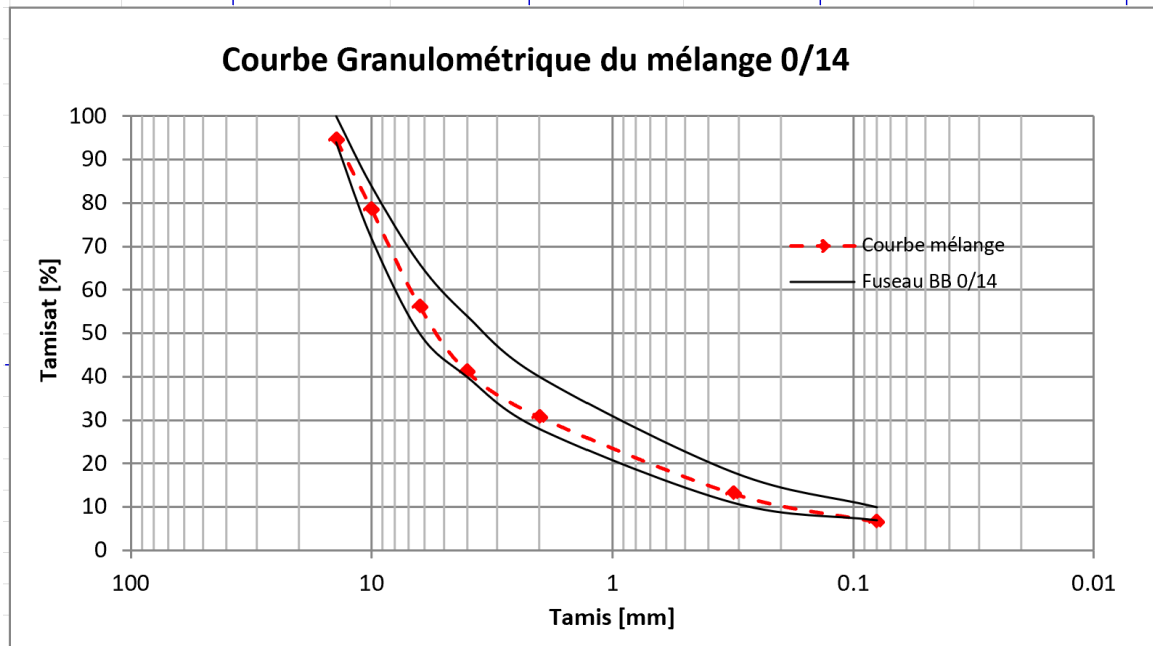


Figure 3.11. Courbe granulométrique du mélange et fuseau de référence 0/14

#### IV.2.3. Détermination de la teneur e liant

##### □ Calcul de Coefficient Correcteur $\alpha$

:

$$\alpha = \frac{2.65}{MVR_g}$$

$$MVR_g = \frac{40 + 28 + 32}{\frac{40}{2.666} + \frac{28}{2.646} + \frac{32}{2.652}} = 2.656 \rightarrow \alpha = 0.998$$

##### □ Calcul la Surface Spécifique des Agrégats $\Sigma$ :

$$100\Sigma = \frac{0.25G + 2.3S + 12s + 135f}{101}$$

Tableau 3.10. Pourcentage des éléments

| Coefficient | G  | S  | s  |
|-------------|----|----|----|
| Pourcentage | 42 | 31 | 27 |

$$100 \Sigma = 0.25(42) + 2.3(31) + 12(27) = 1100.8$$

$$\Sigma = 11.008 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Pour calculer le module de richesse  $K$ , on prend des valeurs qui s'insèrent dans la fourchette 3,3 à 3,9 pour le béton bitumineux.

**Tableau 3.11.** Calcule Teneur en liant

| <b>Teneur en liant = <math>K \times \alpha \times \sqrt[5]{\Sigma}</math></b> |         |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|------|------|
| <b><math>K</math></b>                                                         | 3.30    | 3.35 | 3.45 |
| <b><math>\alpha</math></b>                                                    | 0.9845  |      |      |
| <b><math>\Sigma</math></b>                                                    | 11.1346 |      |      |
| TL (%)                                                                        | 5.26    | 5.34 | 5.50 |

### 3.4.3. FABRICATION D'ENROBE BITUMINEUX A CHAUX

La fabrication et le malaxage du mélange de béton bitumineux en laboratoire a été réalisé

Selon la norme EN 12697-35.

#### 2.1. Préparation des agrégats

Les agrégats sont séchés à  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , avant l'utilisation, Les agrégats seront mis en étuve ventilée à la température  $(160 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , pendant 8 h.



**Photo 3.3** les agregat

## 2.2. Préparation de liant

L'échantillon de liant est placé dans des récipients métalliques chauffés jusqu'à la température de consigne dans un ou plusieurs récipients introduits dans une étuve ventilée à la température de consigne  $\pm 5$  °C, pour une période comprise entre 3,0 h et 5,0 h.

### IV.2.3. Malaxage

Avant le début du malaxage, préchauffer la cuve du malaxeur jusqu'à la température de  $(160 \pm 5)$  °C.

Verser dans la cuve du malaxeur les échantillons de granulats pesés, sans les fillers. Le cas échéant, malaxer les granulats à sec. Ajouter le liant. Maîtriser précisément l'introduction de liant en pesant le récipient à  $\pm 1$  % de la masse pendant le mélange. Malaxer les constituants dans la cuve. Pour ajouter le filler, arrêter le malaxage après 10 s environ, ajouter le filler et poursuivre le malaxage. Continuer le malaxage jusqu'à l'obtention d'un mélange optimum, les granulats étant complètement enrobés de liant. S'assurer que le mélange est visuellement homogène.



Photo 3.4. malaxeur d'enrobe

## 3.5. EXECUTION ESSAI MARSHALL

### 3.5.1. Préparation des éprouvettes

La préparation des éprouvettes de béton bitumineux en laboratoire par compacteur à impact a été conforme à la norme EN 12697-30 (juin 2004)

- ❖ Après malaxage, le mélange doit être conditionné dans une étuve portée à une température de compactage à base de bitumes purs, la température de compactage est  $(160 \pm 5)$  °C.

- ❖ Placer un disque en papier filtre sur l'embase du moule de compactage assemblé porté préalablement à la température de compactage. Introduire le mélange chaud (1200 g), par parties, dans le moule de compactage au moyen d'un entonnoir et égaliser avec une spatule. Veiller à ce qu'aucune ségrégation ne se produise. Après remplissage, la surface du mélange doit être doucement nivelée avec la spatule et recouverte par un deuxième disque en papier filtre
- ❖ Le processus de compactage doit commencer sans délai. Cela nécessite que la rehausse soit fixée sur le corps du moule et fixée au socle de compactage. Une fois que la dame de compactage a été montée, compacter l'éprouvette par l'application de 50 coups sur chaque face.
- ❖ Les éprouvettes compactées doivent être démoulées en s'assurant qu'elles ont été Refroidies à l'air en évitant tout risque de déformation. Attendre 4 h après le démoulage avant de poursuivre l'essai, Tous les essais doivent être terminés dans les 32 h suivant le démoulage.



**Photo 3.5.** Les moules Marshall



**Photo 3.6.** Dame Marshall

### 3.5.2. Mode opératoire d'essai

- ❖ Mesurer la hauteur et le volume de chaque éprouvette et calculer la masse volumique apparente à l'aide de la méthode géométrique.
- ❖ Immerger les éprouvettes sur leur surface plane dans bain marie pendant au moins 40 min à température  $(60 \pm 1) ^\circ\text{C}$ .

- ❖ Nettoyer soigneusement les tiges guidage et les surfaces internes de têtes des mâchoires supérieur et inférieur, lubrifier les tiges de guidage afin que la mâchoire supérieur coulisse librement sur elles.
- ❖ Sortir l'éprouvette du bain marie et la placer au centre des deux mâchoires, en assurant un bon contact entre la surface d'éprouvette. Placer l'ensemble complète au centre sur la machine d'essai.
- ❖ Appliquer la charge sur l'éprouvette afin d'obtenir une vitesse de déformation constant de  $(50 \pm 2)$  mm/min hors période transitoire, poursuivre l'application de cette charge jusqu'à ce que l'on obtienne une indication maximale sur le dispositif de mesurage de la charge, enregistrer la charge indiquée. Cette partie de l'essai doit être réalisé dans les  
40 s suivante sortie de l'éprouvette du bain d'eau.
- ❖ Pratiquer les essais de stabilité et de fluage sur au moins trois éprouvette.



**Photo 3.7.** Bain Marie



**Photo 3.8.** photo Presse Marshall

### 3.5.3. Caractéristiques mécaniques de l'enrober bitumineux d'après essai Marshall

L'essai Marshall permet de calculer les caractéristiques mécaniques suivantes

- Stabilité Marshall : résistance à l'écrasement diamétrale entre deux mâchoires à la température de 60 °C à vitesse constante de 0.85 mm/s exprime en kgf ou Kn
- Fluage : l'affaissement enregistré de même éprouvette au moment de la rupture exprime en 1/10 mm ou mm
- Compacité : rapport entre la masse volumique apparent et absolu exprime en %

Cette dernière caractéristique est donnée par la formule suivante :

$$C\% = 100 \times \frac{MVA}{MVR}$$

*MVA* : La masse volumique apparent de l'enrobé

*MVR* : La masse volumique réelle de l'enrobé

La masse volumique apparent donne par la formule suivante :

$$MVA = \frac{M}{\pi \times \frac{D^2}{4} \times H}$$

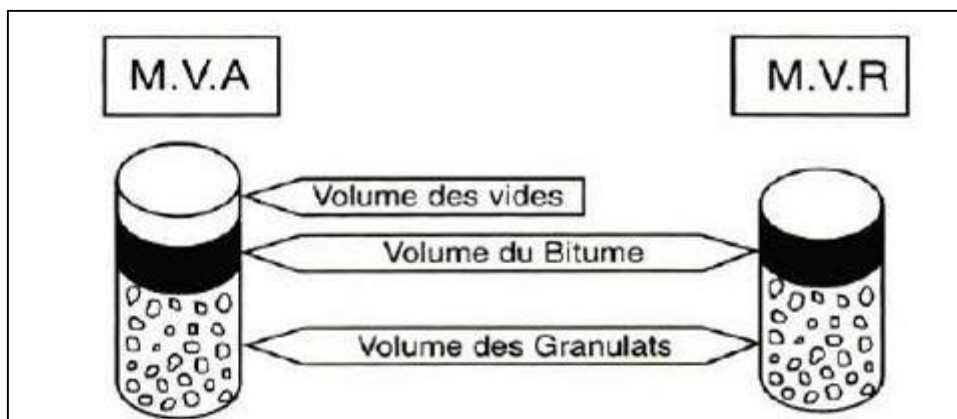
*M* : la masse d'éprouvette en (g)

*D* : le diamètre d'éprouvette en (mm)

*H* : la hauteur d'éprouvette en (mm)

La masse volumique réelle donne par la formule suivante :

$$MVR = \frac{100 + \text{Bitume}\%}{\frac{0/3\%}{\rho(0/3)} + \frac{3/8\%}{\rho(3/8)} + \frac{8/15\%}{\rho(8/15)} + \frac{\text{Bitume}\%}{\rho(\text{Bitume})}}$$



**Figure 3 .12.** Différence entre la masse volumique apparent et réelle [15]

Pourcentage de vides donne par la formule suivante :

$$V\% = 100 - C\%$$

### 3.6. L'essai Module de Rigidité

Le module de rigidité des enrobés bitumineux est déterminé par le Nottingham Asphalt Tester qui permet un essai de traction indirecte. Cet appareil utilise des échantillons cylindriques prélevés de la chaussée par carottage, ou bien préparés en laboratoire. Ces échantillons sont soumis de façon répétée à une charge verticale de compression, provoquant une déformation horizontale d'où est déduit le module de rigidité.

Les éprouvettes cylindriques de diamètre de 100 mm et hauteur moyenne de 67 mm ont été testées en compression diamétrale dans conditions d'essai (15°C, 124 ms) afin de trouver le module de rigidité moyen d'enrobé. La méthode d'opérateur d'essai mentionné précédemment.



**Photo 3.9.** Traction Indirect NAT

#### 3.6.1. Calcul du module de rigidité :

A l'aide des mesures des 5 impulsions de chargement, le module de rigidité mesuré doit être déterminé pour chaque impulsion de chargement à l'aide de la formule suivante :

$$S_m = \frac{F \times (v + 0.27)}{(z \times h)}$$

Où

**S<sub>m</sub>** : est le module de rigidité mesuré, exprimé en méga pascals (MPa) ;

**F** : est la valeur crête de la charge verticale appliquée exprimée en Newtons(N) ; **z** : est l'amplitude de déformation horizontale obtenue pendant le cycle de chargement, exprimée en millimètre (mm) ; **h** : est l'épaisseur moyenne de l'éprouvette, exprimée en millimètres (mm) ; **v** : est le coefficient de poisson.

### 3.6.2. Détermination de la densité apparente (méthode géométrique) :

#### Masse volumique apparente:

Masse par unité de volume, incluant les vides d'air, d'un corps d'épreuve a une température d'essai connue. Le volume du corps d'épreuve s'obtient par mesurage des dimensions. Pour le mesurage des dimensions de l'éprouvette nous avons besoin du Pied à coulisse (Photo. V.7).



**Photo. 3.10:** Mesure des dimensions avec le pied à coulisse.

#### Formule de calcul

Calculer la masse volumique apparente géométrique d'une éprouvette cylindrique ( $\rho$ ) au kg/m<sup>3</sup> le plus proche comme suit :

$$\rho = \frac{m}{r^2 \times \pi \times h}$$

**$\rho$ :** La masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) ;

**$r$ :** Le rayon de la base d'éprouvette(mm) ;

**$h$ :** La hauteur d'éprouvette (mm) ;

**$m$ :** La masse d'éprouvette (Kg)

$$MVA = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}} \times 10^6$$

#### Détermination le pourcentage des vides et la compacité :

Pourcentage des vides

$$V\% = 100 \left[ 1 - \frac{MVA}{MVR} \right]$$

Compacité d'une éprouvette

$$C\% = 100 - V\%$$

### 3.7. Essais de sensibilité à l'eau:

La sensibilité à l'eau du Béton Bitumineux a Module Elève formule, est déterminée par deux méthodes :

- Méthode Traction indirect.
- Méthode Duriez.



a) Méthode traction



b) Méthode compression

**Photo 3.11.** Les Méthodes l'essais Réalisés

#### 3.7.1. Préparation des éprouvettes :

On a préparé des éprouvettes par compaction giratoire, L'ensemble des éprouvettes est divisées en deux partie, un partiér destiré au essai traction, et l'attre compression.

Les méthodes réalisées suivant, l'instruction de la norme NF EN 12697-12



a) Les Moules compaction giratoire



b) Les éprouvettes

**Photo 3.12.** Préparation des éprouvettes

#### Conservation des éprouvettes :

Chaque partie est divisée en deux lots, un lot vers conservation dans l'eau et l'autre conserver à l'air, pour la méthode de traction les conditions d'essais sont :

- 40 °C à l'air pendant 3 jours. - 25 °C à l'air pendant 3 jours.



**Photo 3.13.** Conservation des éprouvettes

Pour la compression simple les conditions d'essais sont :

- 18 °C, à l'eau 7 jours.
- 18 °C, 50% Humidité 7 jours.



**Photo 3.14.** Conservation des éprouvettes

#### **Ecrasement de traction:**

Après la conservation normalisés, l'écrasement est réalisé à des vitesses de chargement de 50 mm/min pour traction, et à 60 mm/min pour la compression.

Concernant la température, les éprouvettes de traction sortent les milieux de conservation et conserver à 15 °C pendant 24 h plus (le quatrième jour) et écraser à 15 °C

Les éprouvettes de compression sortent directement de la chambre climatique vers la presse d'écrasement, et écraser dans un délai de 2 min maximum.

#### **Ecrasement de compression :**

Nous réalisons l'essai sur les 06 éprouvettes en totale (03 immerger dans le bain d'eau) (03 conserver sans immersion dans la chambre humide) à une température de 18°C.

L'essai réaliser par la presse duriez à une vitesse de 60 mm/min, et la contrainte maximale sont enregistrer et la courbe de contrainte en fonction de déformation.

### **3.8. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter les principales étapes expérimentales pour connaitre les propriétés mécaniques de tous les mélanges proposés dans cette étude et comment déterminer les différents paramètres de chaque essai soit essai Marshall ou essai de module ou essai de sensibilité a l'eau.

Les résultats obtenus à partir des essais effectués sur les différents échantillons, sont très intéressants, ceux-ci seront exposés dans le chapitre qui suit avec leurs interprétations.

# Chapitre 4: Résultats et discussion

## 4.1. Introduction

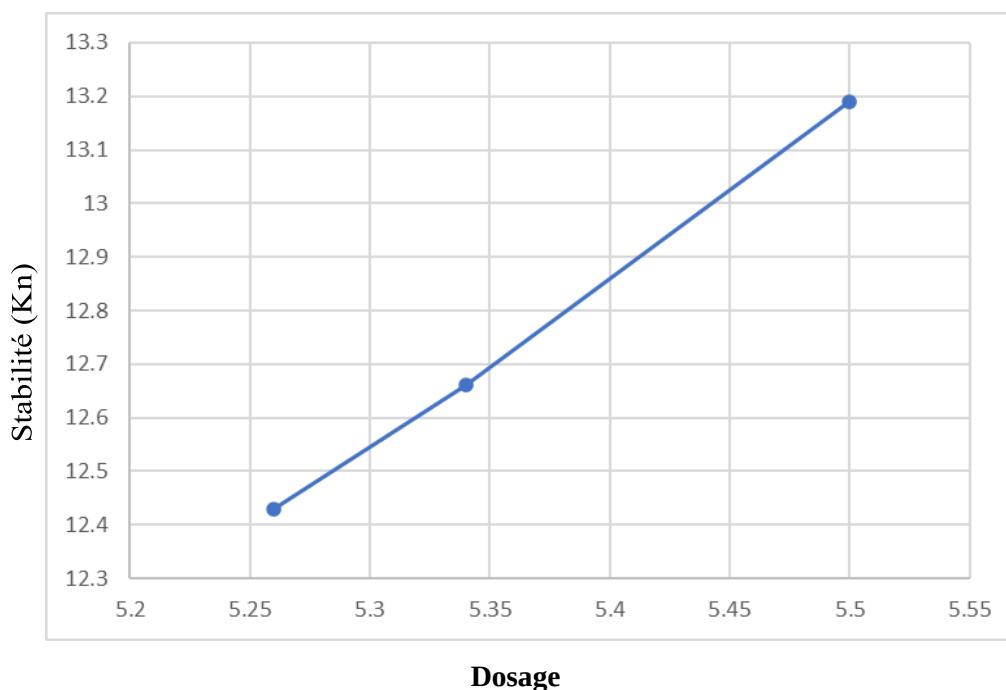
Ce chapitre présente les résultats obtenus à partir de l'expérience Marshall et module de rigidité et sensibilité à l'eau pour différentes compositions.

## 4.2. EXPRESSION DES RESULTATS D'ESSAI MARSHALL

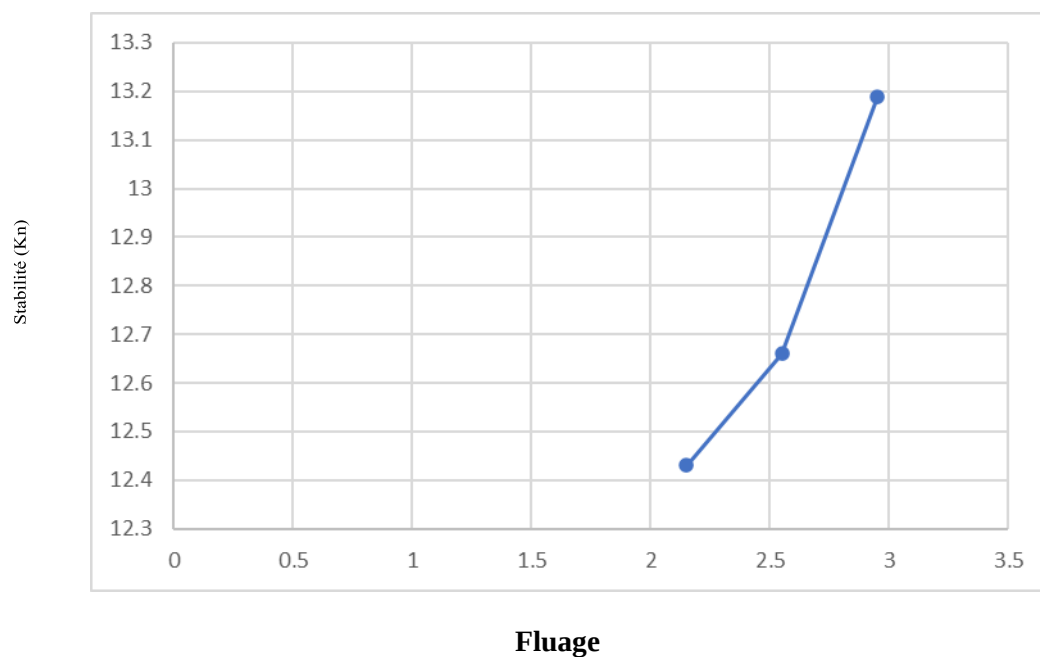
L'essai de Marshall permet de déterminer la stabilité, le fluage des enrobés bitumineux, Les résultats d'essai Marshall sont présentés sur les Tableaux (Tableau.1, Tableau.2)

**Tableau 4.1.** Variation de stabilité en fonction de teneur en liant

| Désignation     | Formulation |       |       | Recommandations<br>0/14 |
|-----------------|-------------|-------|-------|-------------------------|
|                 | A           | B     | C     |                         |
| Dosage en liant | 5.26        | 5.34  | 5.50  | -                       |
| Stabilité (Kn)  | 12.43       | 12.66 | 13.19 | $\geq 10.50$            |
| Fluage (mm)     | 2.15        | 2.55  | 2.95  | $\leq 4$                |



**Figure 4.1.** Variation de stabilité en fonction de teneur en liant



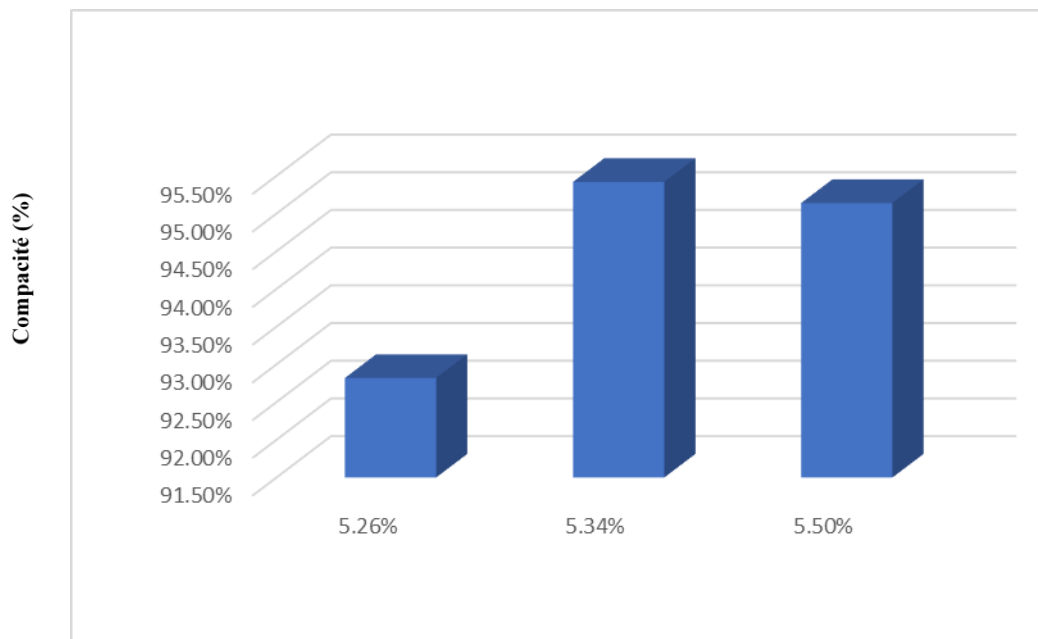
**Figure 4.2.** Variation de fluage en fonction de teneur en liant

D'après les résultats obtenus par essai Marshall nous avons choisi le teneur en liant de formulation B (TL = 5.34%)

Le Tableau V.2. Présente les autres caractéristiques d'essai Marshall

**Tableau 4.2.** Caractéristique d'essai Marshall

| Désignation       | Formulation |       |       | Recommandations |
|-------------------|-------------|-------|-------|-----------------|
|                   | A           | B     | C     |                 |
| Dosage            | 5.26        | 5.34  | 5.50  | -               |
| Densité théorique | 2.491       | 2.488 | 2.483 |                 |
| Densité apparent  | 2.312       | 2.374 | 2.362 |                 |
| Compacité (%)     | 92.82       | 95.42 | 95.14 | 92 – 97         |
| Indice de vides   | 7.86        | 6.7   | 6.64  | 3 – 8           |



**Figure 4.3.** Variation de compacité en fonction de teneur en liant

D'après les résultats obtenus par essai Marshall nous avons choisi le teneur en liant de formulation B (TL = 5.34%)

### 4.3. EXPRESSION DES RESULTATS D'ESSAI MODULE DE RIGIDITE

Le tableau suivant représente les résultats d'essai de module de rigidité pour différentes compositions.

**Tableau 4.3.** Résultats essai module de rigidité

| Bitume normale 40/50 | Bitume modifie |      |      | Spécification CTPP a 30° |
|----------------------|----------------|------|------|--------------------------|
|                      | 0.5%           | 1%   | 1.5% |                          |
| 2822                 | 3464           | 4295 | 4392 | ≥2500                    |
|                      | 3811           | 4073 | 4400 |                          |
| 2927                 | 3302           | 4127 | 4131 |                          |

D'après notre étude, nous avons observé que le polymère polypropylène (PP) avait un impact sur le coefficient de rigidité du mélange. Plus le pourcentage d'ajout est élevé, plus le coefficient de rigidité est élevé par rapport au mélange de référence.

#### 4.4. EXPRESSION DES RESULTATS D'ESSAI SENSIBILITE A LEAU

##### 4.4.1 Méthode de duriez

Le tableau suivant représente les résultats d'essai duriez

**Tableau 4.4.** Résultats essai duriez

|                                     | Air                                          |        | Eau   |      | Spéciation |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|--------|-------|------|------------|
| Eprouvette                          | 1                                            | 2      | 1     | 2    |            |
| Résistance à la compression (MPa)   | 10.213                                       | 10.161 | 9.804 | 9.70 |            |
| Résistance à la compression moyenne | 10.187                                       |        | 9,752 |      |            |
| Rapport d'immersion (r/R)           | $\frac{r}{R} = \frac{9.752}{10.187} = 0.957$ |        |       |      | $\geq 0.8$ |

D'après nos travaux, l'essais de Duriez montrer que les résultats du mélange sont conformes aux spécifications européennes. NF EN 13108-

#### 4.4.2 Méthode de traction indirect

Le tableau suivant représente les résultats d'essai traction indirect

**Tableau 4.5.** Résultats essai traction indirect

|                                               | Dosage |       |        |       |        |       |        |       | Spécification |
|-----------------------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|---------------|
|                                               | 0 %    |       | 0.5%   |       | 1%     |       | 1.5%   |       |               |
|                                               | Air    | Eau   | Air    | Eau   | Air    | Eau   | Air    | Eau   |               |
| Résistance à la traction indirect (Mpa) Ep1   | 25.57  | 23.88 | 19.66  | 18.95 | 32.23  | 27.21 | 22.31  | 20.78 |               |
| Résistance à la traction indirect (Mpa) Ep2   | 27.19  | 23.56 | 18.80  | 18.18 | 33.15  | 30.24 | 23.62  | 21.97 |               |
| Résistance à la traction indirect (Mpa) moyen | 26.38  | 23.72 | 19.23  | 18.56 | 32.69  | 28.72 | 22.96  | 21.34 |               |
| ITSR                                          | 89.91% |       | 96.51% |       | 87.85% |       | 92.94% |       | ≥ 80%         |

D'après nos travaux, l'essais de traction indirecte montrer que les résultats de différente composition de mélange sont conformes aux spécifications européennes. NF EN 13108- ce qui doit être supérieure à 80%.

#### 4.5. Conclusion

L'introduction du polymère avec le bitume et utilise dans un béton bitumineux améliore sensiblement ses performances, Cette amélioration peut être dans la stabilité et le module de rigidité, et cela le rend meilleur que le BB ordinaire. Cette amélioration a été clairement constatée après l'ajout de 0.5% et 1% et 1.5% de PP, justifier a la synthèse globale, traitent les résultats obtenus par les différents essais.

# Conclusion générale

---

Notre travail consiste à étudier l'influence de plastique polymère (PP) sur le module de rigidité de bétons bitumineux cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Il est possible d'améliorer le module des enrobés par l'ajout des polymère (PP)
- Nous avons constaté que l'ajout des doses suivantes 0.5% ; 1% ; 1.5% améliorerait le module de rigidité par rapport au mélange de référence

Ces résultats sont particulièrement significatifs dans la mesure où l'amélioration du béton bitumineux à l'aide de polymères, et plus particulièrement du polypropylène, est encore considérée comme un domaine relativement nouveau et prometteur par rapport aux techniques traditionnelles de renforcement des matériaux. Cette nouveauté offre un vaste champ d'innovation et de développement. Par conséquent, les propriétés de ce nouveau matériau composite nécessitent indéniablement des efforts de recherche intensifiés et des expérimentations en laboratoire et sur le terrain. Des études plus approfondies sont nécessaires pour comprendre les mécanismes précis d'interaction entre le polymère et les composants bitumineux, ainsi que pour évaluer les performances à long terme de ces matériaux dans diverses conditions environnementales et d'exploitation. Ceci doit s'accompagner du développement et de l'adaptation de procédures expérimentales nouvelles et innovantes garantissant une évaluation complète et précise de ces matériaux avancés, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour leurs applications dans des projets d'envergure.



# Références

---

- [1] <https://www.sogeba.fr/services/enrobe/>
- [2] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publicsth3/les-routes-les-ponts-et-les-joints-42235210/liants-hydrocarbones-c904/definitionc904niv10001.html>
- [3] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Liant-hydrocarbone.html>
- [4] <https://www.inrs.fr/risques/bitume/de-quoi-parle-t-on.html>
- [5] SIDIBE AISSATA ET HAMADI HOUSSAM (2020) : *AMELIORATION DU BETON BITUMINEUX PAR DES POLYMERES ISSUS DU RECYCLAGE*.  
*Mémoire de Master. Université de Guelma*
- [6] <https://www.scribd.com/document/639580533/S7-10-13-Essai-de-penetrabilite-des-bitumes>
- [7] MESSAOUDI Hamida (2022) Effet de l'ajout de sable de dunes à la formulation du béton bitumineux à chaud sur les performances physiques : Granulats de la région de Ghardaïa.  
*Mémoire master. Université de Adrar*
- [8] KEMASSI Nassima (2019) Bitume Hautement Modifiés par Polymère (HiMA): Influence des polymères sur la viscosité des liants –Etude de cas : D0234 - Mémoire master.  
*Université de Ouargla.*
- [9]
- [10] IBEK Yahia ET LITTEM Lamine (2019) Etude des caractéristiques d'un bitume pur modifié par PVC - Mémoire master. Université de Ouargla.
- [11] <https://www.vialab.fr/fr/produits/accueil/equipement-de-laboratoire-routier/bitume/etuve-rtfotrolling-thin-film-oven-test/>
- [12] (Bitume Québec ; 2008), Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Novembre 2008.
- [13] Baba Mohammed Elamin (2021) Etude de formulation d'un béton bitumineux semi-grenu  
*BBSG 0/14 pour couche de roulement : Cas de granulats. Mémoire master. Université de Adrar*
- [14] [béton bitumineux - GuideBeton.com](#)

- [15] DAAS, D. and HACHANI, M.I. (2013) *Etude expérimental d'un béton bitumineux modifié à la poudrette de caoutchouc. Mémoire master. Université de Ouargla.*
- [16] <http://thekamat.com/?product=presse-cbrmarshall-multivitesse-50kn>
- [17] <https://www.controlab.fr/gamme/machine-dessais-universelle-200-kn/>
- [18] <https://www.cooper.co.uk/lapproche-francaise-de-conception-des-enrobes-liee-auxperformances/>

## **LISTE DE NORNME**

**NF P 18-560** : << Essai analyse granulométrique par tamisage >>

**NF P 18-561** : << Essai coefficient d’aplatissement de granulat>>

**NF P 18-554** : <<Essai de propriété superficiel >>

**NF P 18-573:** << Essai los Angeles – détermination la résistance aux chocs des granulats

>> **NF P 18-572:** << Essai micro deval - détermination la résistance à l'usure des granulat  
>>

**NF P 18-554** : <<détermination la masse volumique >>

**NF P 18-597** : <<Essai équivalent de sable >>

**NF EN -1426** :<<Essai pénétrabilité a aiguille >>

**NF EN -1427** :<<Essai point de ramollissement >>

**NF EN 12697-35** : << Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 35: Malaxage en laboratoire >>

**NF EN 12697-34** : << Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 34 : Essai Marshall >>

**NF EN 12697-31** : << Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 31 : Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire >>

**NF EN 12697-26** << Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai — Partie 26 : Module de rigidité >>

**NF EN 12697-23** : <<Mélanges bitumineux — Méthode d'essais — Partie 23 Détermination de la résistance à la traction indirecte des éprouvettes bitumineuses >>

**NF EN 13108-1** : <<Spécifications des matériaux Partie 1 : Enrobés bitumineux >>

# **Annexe**

## 1- PRESENTATION DE L'ETUDE

Le présent rapport est produit sur la demande et pour le compte de l'entreprise **ETS HENKA DES GRANDS TRAVAUX PUBLICS ET HYDRAULIQUE** à l'effet d'apprécier l'aspect géotechnique relatif à l'étude de formulation du **béton bitumineux 0/14**, destinée aux travaux de l'entreprise

Le béton bitumineux expérimenté se compose d'un squelette minéral ternaire, renfermant les fractions granulaires concassées 0/3, 3/8 et 8/15. Le liant hydrocarboné utilisé est le bitume pur de classe 40/50.

Les agrégats provenant de la station de concassage situent à AIN TOUTA, ces composant d'agrégat et bitume sont prélevés et acheminés au laboratoire par le client.

Aussitôt, les matériaux sont soumis aux essais normatifs usuels en vue d'apprécier leurs caractéristiques comparativement aux exigences techniques prescrites.

## 2-IDENTIFICATION DES GRANULATS

| Norms      | Essais                                              |                 | Gravier des classes |        | Sable  | Bitume | Ecarts                                                                                   |
|------------|-----------------------------------------------------|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |                                                     | Tamis(mm)       | 8/15                | 3/8    | 0/3    |        |                                                                                          |
| NF15-560   | Analyse granulométrique                             | 31.5            | 100,00              | 100,00 | 100,00 |        | Voir en annexe graphes courbes granulométrique Comparées avec leurs fuseaux de référence |
|            |                                                     | 25              | 100,00              | 100,00 | 100,00 |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 20              | 99,70               | 100,00 | 100,00 |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 16              | 93,80               | 100,00 | 100,00 |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 14              | 79,60               | 100,00 | 100,00 |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 12.5            | 60,30               | 100,00 | 100,00 |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 10              | 20,10               | 100,00 | 100,00 |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 8               | 4,40                | 97,50  | 100,00 |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 6.3             | 1,50                | 44,00  | 100,00 |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 5               |                     | 9,83   | 99,49  |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 4               |                     | 1,67   | 96,56  |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 2               |                     | 0,67   | 72,50  |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 1               |                     |        | 56,79  |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 0.5             |                     |        | 38,53  |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 0.315           |                     |        | 30,96  |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 0.125           |                     |        | 22,14  |        |                                                                                          |
|            |                                                     | 0.08            |                     |        | 15,51  |        |                                                                                          |
| NF P18-591 | Essai de propreté                                   | P%              | 0.60                | 0.75   |        |        |                                                                                          |
| NF P18-561 | Essai d'aplatissement                               | A%              | 10                  | 13     |        |        | < 20%                                                                                    |
| NF P18-573 | Essai de Los Angeles                                | %               | 15                  | 16     |        |        | < 25%                                                                                    |
| NF P18-572 | Essai Micro-Deval Humide                            | %               | 14                  | 15     |        |        | < 20%                                                                                    |
|            | Densité absolus                                     | g/m3            | 2,70                | 2,70   | 2,68   |        |                                                                                          |
| NF P18-597 | Equivalent de sable                                 | %               |                     |        | 64     |        | > 60%                                                                                    |
| NF T66-004 | Pénétration à 25°C                                  | 1/10mm          |                     |        |        | 45     | 40 à 50                                                                                  |
|            | Point de ramollissement en degrés C bille et anneau |                 |                     |        |        | 51     | 47 à 60                                                                                  |
| NF T66-007 | Densité                                             | Relative à 25°C |                     |        |        | 1.03   | 1.00 à 1.10                                                                              |



### 3- ETUDE DE FORMULATION

#### 1. COMPOSITION GRANULAIRE

Afin d'avoir une courbe granulométrique continue, nous avons utilisé trois classes granulaires : 0/3, 3/8 et 8/15.

Il s'agit d'un mélange composé des trois classes granulaire: 0/3, 3/8 et 8/15.

Les pourcentages obtenus sont déterminés d'après la courbe granulométrique de chaque agrégat en tenant compte du fuseau de référence 0/14.

La composition obtenue est la suivante :

- ✚ Gravier de classe 8/15 .....27 %
- ✚ Gravier de classe 3/8 .....31 %
- ✚ Sable de classe 0/3 .....42 %

La courbe granulométrique déduite de ces fractions s'insère totalement dans le fuseau de référence 0/14 (voir graphes en annexe).

| Tableau de mélange du grave 0/14 |              |       |             |       |           |       |                 |
|----------------------------------|--------------|-------|-------------|-------|-----------|-------|-----------------|
| Tamis<br>(mm)                    | Gravier 8/15 |       | Gravier 3/8 |       | Sable 0/3 |       | Mélange<br>0/14 |
| 31,5                             | 100,00       | 27,00 | 100,00      | 31,00 | 100,00    | 42,00 | 100,00          |
| 25                               | 100,00       | 27,00 | 100,00      | 31,00 | 100,00    | 42,00 | 100,00          |
| 20                               | 99,70        | 26,92 | 100,00      | 31,00 | 100,00    | 42,00 | 99,92           |
| 16                               | 93,80        | 25,33 | 100,00      | 31,00 | 100,00    | 42,00 | 98,33           |
| 14                               | 79,60        | 21,49 | 100,00      | 31,00 | 100,00    | 42,00 | 94,49           |
| 12,5                             | 60,30        | 16,28 | 100,00      | 31,00 | 100,00    | 42,00 | 89,28           |
| 10                               | 20,10        | 5,43  | 100,00      | 31,00 | 100,00    | 42,00 | 78,43           |
| 8                                | 4,40         | 1,19  | 97,50       | 30,23 | 100,00    | 42,00 | 73,41           |
| 6,3                              | 1,50         | 0,41  | 44,00       | 13,64 | 100,00    | 42,00 | 56,05           |
| 5                                |              |       | 9,83        | 3,05  | 99,49     | 41,79 | 44,83           |
| 4                                |              |       | 1,67        | 0,52  | 96,56     | 40,56 | 41,07           |
| 2                                |              |       | 0,67        | 0,21  | 72,50     | 30,45 | 30,66           |
| 1                                |              |       |             |       | 56,79     | 23,85 | 23,85           |
| 0,5                              |              |       |             |       | 38,53     | 16,18 | 16,18           |
| 0,315                            |              |       |             |       | 30,96     | 12,81 | 12,81           |
| 0,125                            |              |       |             |       | 22,14     | 9,43  | 9,43            |
| 0,08                             |              |       |             |       | 15,51     | 6,90  | 6,90            |



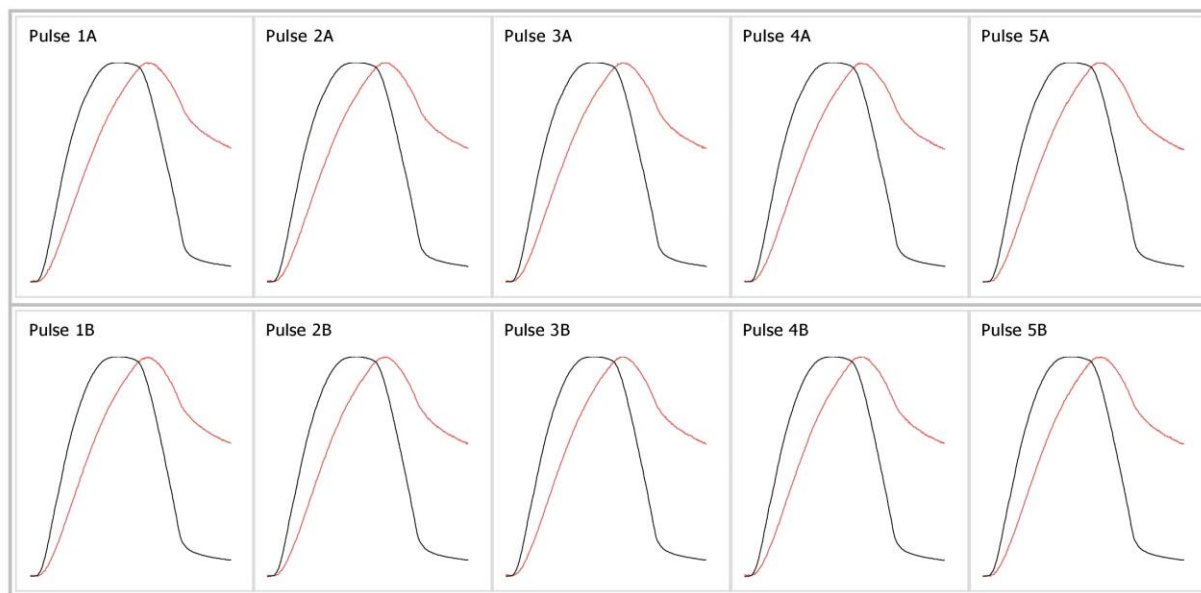
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 06 May 2025 @ 09:15  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP01  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                      |      |
|----------------------|------|
| Test Temperature (°) | 30   |
| Bulk Density (kg/m3) | 2350 |
| Diameter (mm)        | 100  |
| Thickness (mm)       | 65   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B     |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.339 | 1.340 | 1.339 | 1.340 | 1.340 | 1.340  | 1.301 | 1.302 | 1.302 | 1.302 | 1.302 | 1.302  | <b>1.321</b> |
| Horizontal Stress (kPa)          | 131.5 | 131.6 | 131.5 | 131.6 | 131.6 | 131.6  | 127.7 | 127.8 | 127.8 | 127.8 | 127.8 | 127.8  | <b>129.7</b> |
| Load-Area Factor                 | 0.69  | 0.70  | 0.70  | 0.70  | 0.69  | 0.70   | 0.70  | 0.69  | 0.70  | 0.70  | 0.69  | 0.69   | <b>0.70</b>  |
| Horizontal Deformation (um)      | 5.03  | 5.03  | 5.03  | 5.03  | 5.03  | 5.03   | 5.02  | 5.02  | 5.02  | 5.02  | 5.02  | 5.02   | <b>5.03</b>  |
| Load Rise Time (ms)              | 126   | 125   | 125   | 124   | 126   | 125    | 125   | 126   | 125   | 124   | 126   | 126    | <b>125</b>   |
| Measured Stiffness (MPa)         | 2699  | 2715  | 2719  | 2716  | 2735  | 2717   | 2636  | 2660  | 2661  | 2669  | 2677  | 2661   | <b>2689</b>  |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 2828  | 2854  | 2857  | 2863  | 2867  | 2854   | 2766  | 2784  | 2793  | 2810  | 2802  | 2791   | <b>2822</b>  |

Data File 30 - EP01\_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

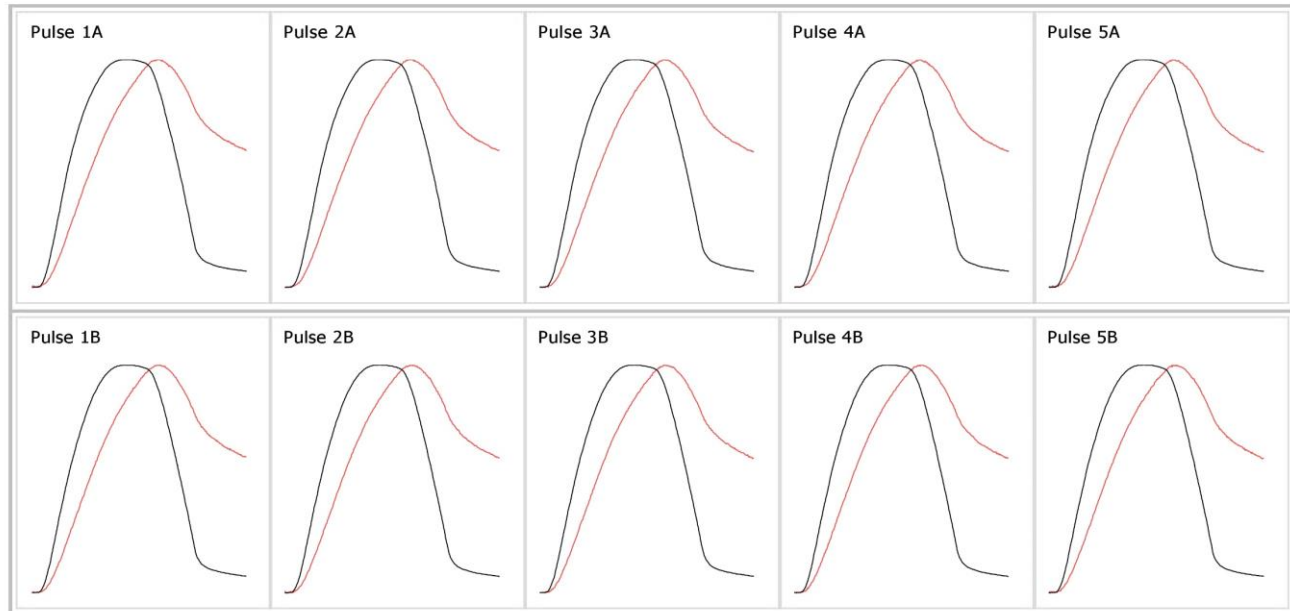
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 06 May 2025 @ 09:33  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP02  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                      |      |
|----------------------|------|
| Test Temperature (°) | 30   |
| Bulk Density (kg/m3) | 2362 |
| Diameter (mm)        | 101  |
| Thickness (mm)       | 65   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.347 | 1.348 | 1.348 | 1.348 | 1.349 | 1.348  | 1.357 | 1.357 | 1.357 | 1.357 | 1.357 | 1.357  | 1.352    |
| Horizontal Stress (kPa)          | 132.1 | 132.2 | 132.1 | 132.2 | 132.3 | 132.2  | 133.1 | 133.0 | 133.1 | 133.0 | 133.1 | 133.1  | 132.6    |
| Load-Area Factor                 | 0.70  | 0.70  | 0.69  | 0.70  | 0.70  | 0.70   | 0.70  | 0.69  | 0.70  | 0.70  | 0.70  | 0.70   | 0.70     |
| Horizontal Deformation (um)      | 4.98  | 4.98  | 4.98  | 4.98  | 4.98  | 4.98   | 4.91  | 4.91  | 4.91  | 4.91  | 4.91  | 4.91   | 4.95     |
| Load Rise Time (ms)              | 122   | 123   | 124   | 123   | 123   | 123    | 123   | 124   | 122   | 122   | 122   | 123    | 123      |
| Measured Stiffness (MPa)         | 2742  | 2761  | 2761  | 2760  | 2761  | 2757   | 2803  | 2814  | 2813  | 2814  | 2815  | 2812   | 2784     |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 2890  | 2900  | 2893  | 2900  | 2900  | 2897   | 2944  | 2949  | 2965  | 2966  | 2967  | 2958   | 2927     |

Data File 30 - EP02\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

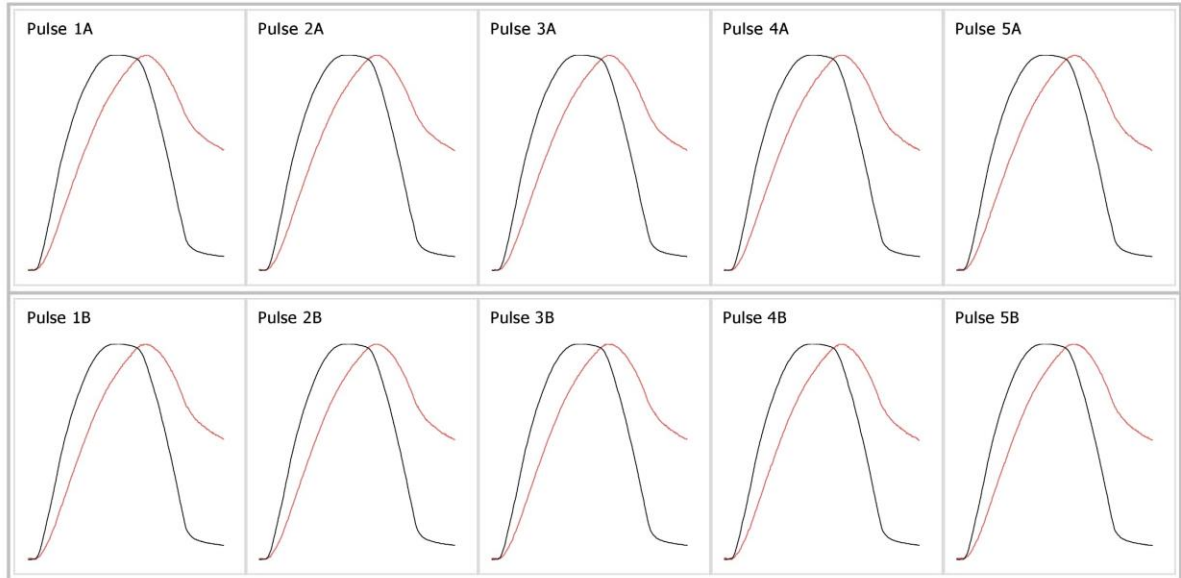
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 06 May 2025 @ 10:17  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP03  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Test Temperature (°)              | 30   |
| Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> ) | 2287 |
| Diameter (mm)                     | 101  |
| Thickness (mm)                    | 65   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (µm) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.635 | 1.637 | 1.636 | 1.636 | 1.637 | 1.636  | 1.634 | 1.633 | 1.633 | 1.633 | 1.633 | 1.633  | 1.635    |
| Horizontal Stress (kPa)          | 157.7 | 157.8 | 157.7 | 157.7 | 157.8 | 157.7  | 157.6 | 157.4 | 157.4 | 157.4 | 157.4 | 157.4  | 157.6    |
| Load-Area Factor                 | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | 0.69  | 0.69  | 0.68  | 0.69  | 0.68  | 0.69   | 0.69     |
| Horizontal Deformation (µm)      | 4.97  | 4.97  | 4.97  | 4.97  | 4.97  | 4.97   | 4.93  | 4.93  | 4.93  | 4.93  | 4.93  | 4.93   | 4.95     |
| Load Rise Time (ms)              | 125   | 124   | 124   | 124   | 125   | 125    | 127   | 125   | 126   | 124   | 126   | 126    | 125      |
| Measured Stiffness (MPa)         | 3278  | 3294  | 3290  | 3302  | 3295  | 3292   | 3305  | 3318  | 3321  | 3317  | 3329  | 3318   | 3305     |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 3432  | 3459  | 3456  | 3468  | 3450  | 3453   | 3459  | 3479  | 3471  | 3488  | 3479  | 3475   | 3464     |

Data File 30 - EP03\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

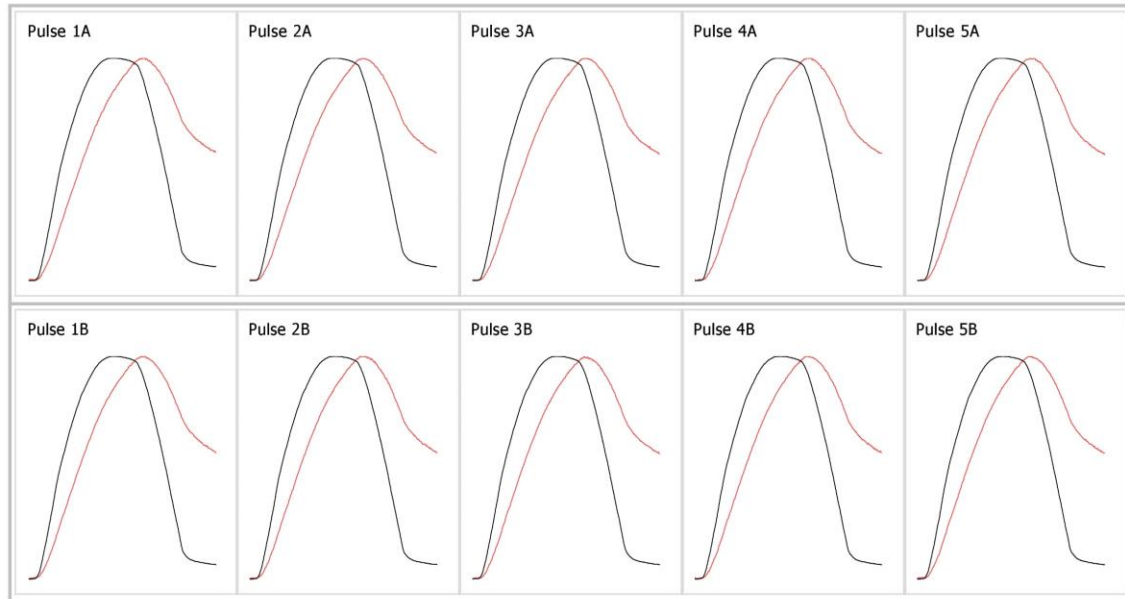
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C, April 2005**

Date of Test 06 May 2025 @ 10:56  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP04  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Test Temperature (°)              | 30   |
| Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> ) | 2316 |
| Diameter (mm)                     | 101  |
| Thickness (mm)                    | 65   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (µm) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B     |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.781 | 1.781 | 1.781 | 1.782 | 1.781 | 1.781  | 1.780 | 1.780 | 1.781 | 1.780 | 1.780 | 1.780  | <b>1.781</b> |
| Horizontal Stress (kPa)          | 173.9 | 173.9 | 173.8 | 173.9 | 173.9 | 173.9  | 173.7 | 173.7 | 173.8 | 173.7 | 173.7 | 173.8  | <b>173.8</b> |
| Load-Area Factor                 | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | 0.69  | 0.68  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | <b>0.69</b>  |
| Horizontal Deformation (µm)      | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95   | 4.92  | 4.92  | 4.92  | 4.92  | 4.92  | 4.92   | <b>4.93</b>  |
| Load Rise Time (ms)              | 126   | 126   | 126   | 126   | 126   | 126    | 125   | 126   | 125   | 125   | 125   | 125    | <b>125</b>   |
| Measured Stiffness (MPa)         | 3608  | 3617  | 3619  | 3624  | 3629  | 3619   | 3623  | 3640  | 3627  | 3639  | 3629  | 3632   | <b>3626</b>  |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 3797  | 3806  | 3809  | 3813  | 3819  | 3809   | 3807  | 3813  | 3812  | 3824  | 3814  | 3814   | <b>3811</b>  |

Data File 30 - EP04\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

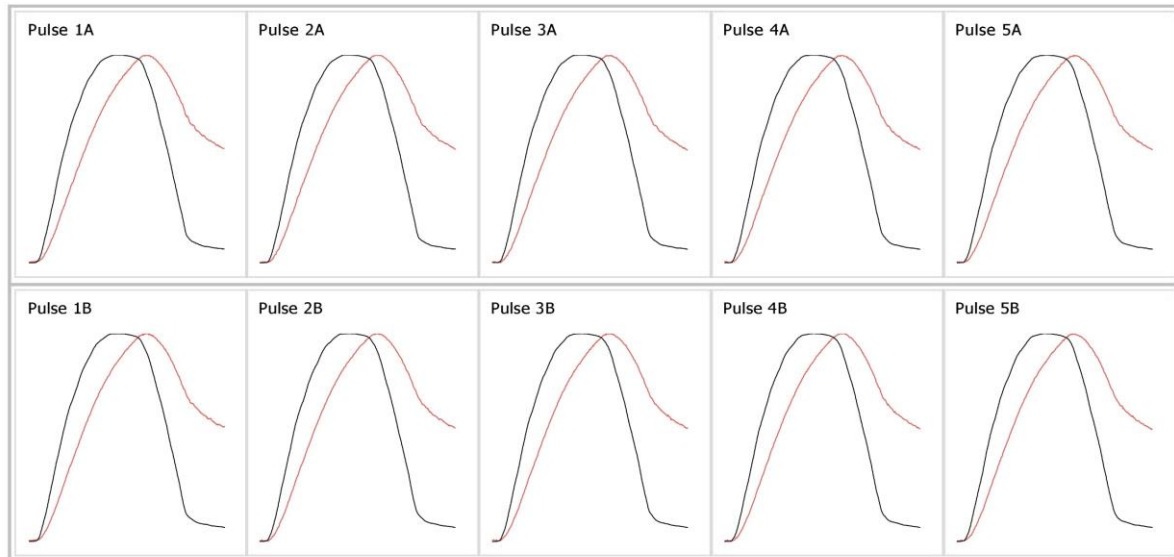
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 06 May 2025 @ 12:45  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP05  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                       |                                   |      |
|-----------------------|-----------------------------------|------|
| <input type="radio"/> | Test Temperature (°)              | 30   |
| <input type="radio"/> | Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> ) | 2292 |
| <input type="radio"/> | Diameter (mm)                     | 101  |
| <input type="radio"/> | Thickness (mm)                    | 65   |

|                       |                               |      |
|-----------------------|-------------------------------|------|
| <input type="radio"/> | Conditioning Pulses           | 10   |
| <input type="radio"/> | Poissons Ratio                | 0.35 |
| <input type="radio"/> | A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| <input type="radio"/> | A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.588 | 1.587 | 1.587 | 1.587 | 1.588 | 1.587  | 1.571 | 1.570 | 1.572 | 1.570 | 1.571 | 1.571  | 1.579    |
| Horizontal Stress (kPa)          | 152.8 | 152.8 | 152.7 | 152.7 | 152.8 | 152.8  | 151.2 | 151.1 | 151.3 | 151.2 | 151.2 | 151.2  | 152.0    |
| Load-Area Factor                 | 0.69  | 0.69  | 0.68  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | 0.69  | 0.70  | 0.70  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | 0.69     |
| Horizontal Deformation (um)      | 5.03  | 5.03  | 5.03  | 5.03  | 5.03  | 5.03   | 5.00  | 5.00  | 5.00  | 5.00  | 5.00  | 5.00   | 5.01     |
| Load Rise Time (ms)              | 124   | 124   | 123   | 123   | 125   | 124    | 123   | 123   | 124   | 125   | 125   | 124    | 124      |
| Measured Stiffness (MPa)         | 3136  | 3153  | 3153  | 3153  | 3151  | 3149   | 3125  | 3141  | 3146  | 3156  | 3151  | 3144   | 3146     |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 3283  | 3302  | 3296  | 3312  | 3305  | 3300   | 3284  | 3304  | 3312  | 3314  | 3309  | 3305   | 3302     |

Data File 30 - EP05\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

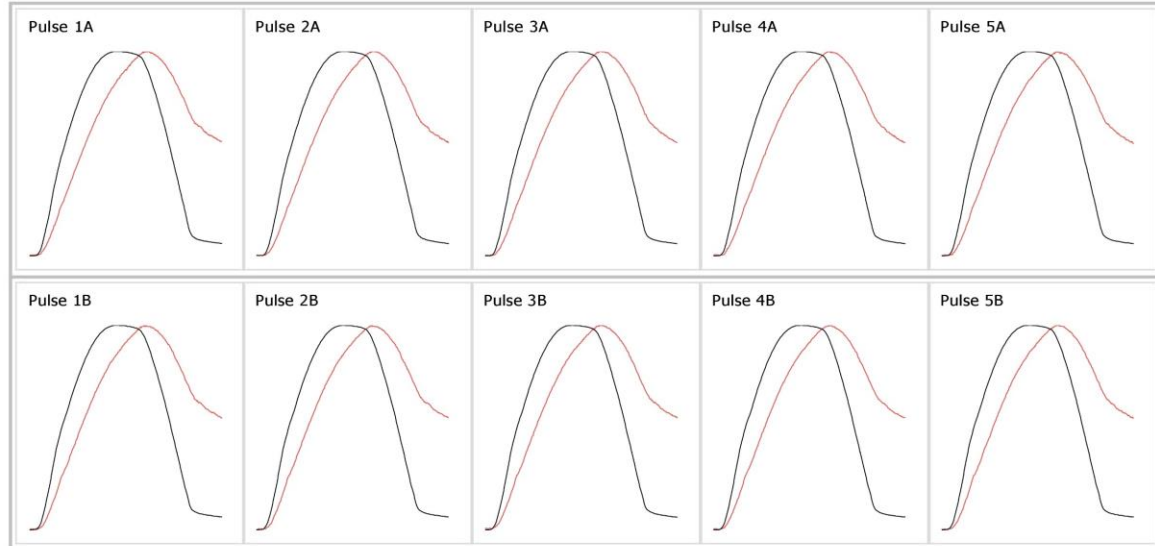
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 07 May 2025 @ 07:04  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP06  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                      |      |
|----------------------|------|
| Test Temperature (°) | 30   |
| Bulk Density (kg/m3) | 2338 |
| Diameter (mm)        | 102  |
| Thickness (mm)       | 63   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.971 | 1.971 | 1.970 | 1.971 | 1.970 | 1.970  | 1.972 | 1.972 | 1.972 | 1.972 | 1.972 | 1.972  | 1.971    |
| Horizontal Stress (kPa)          | 194.7 | 194.7 | 194.6 | 194.7 | 194.7 | 194.7  | 194.8 | 194.8 | 194.8 | 194.8 | 194.8 | 194.8  | 194.8    |
| Load-Area Factor                 | 0.68  | 0.69  | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68   | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.68  | 0.69  | 0.68   | 0.68     |
| Horizontal Deformation (um)      | 4.96  | 4.96  | 4.96  | 4.96  | 4.96  | 4.96   | 4.83  | 4.83  | 4.83  | 4.83  | 4.83  | 4.83   | 4.90     |
| Load Rise Time (ms)              | 125   | 124   | 125   | 125   | 125   | 125    | 115   | 115   | 115   | 116   | 115   | 115    | 120      |
| Measured Stiffness (MPa)         | 4031  | 4047  | 4040  | 4038  | 4034  | 4038   | 4148  | 4147  | 4152  | 4146  | 4169  | 4152   | 4095     |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 4223  | 4254  | 4235  | 4232  | 4228  | 4234   | 4352  | 4353  | 4358  | 4337  | 4375  | 4355   | 4295     |

Data File 30 - EP06\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

**cooper**  
TECHNOLOGY

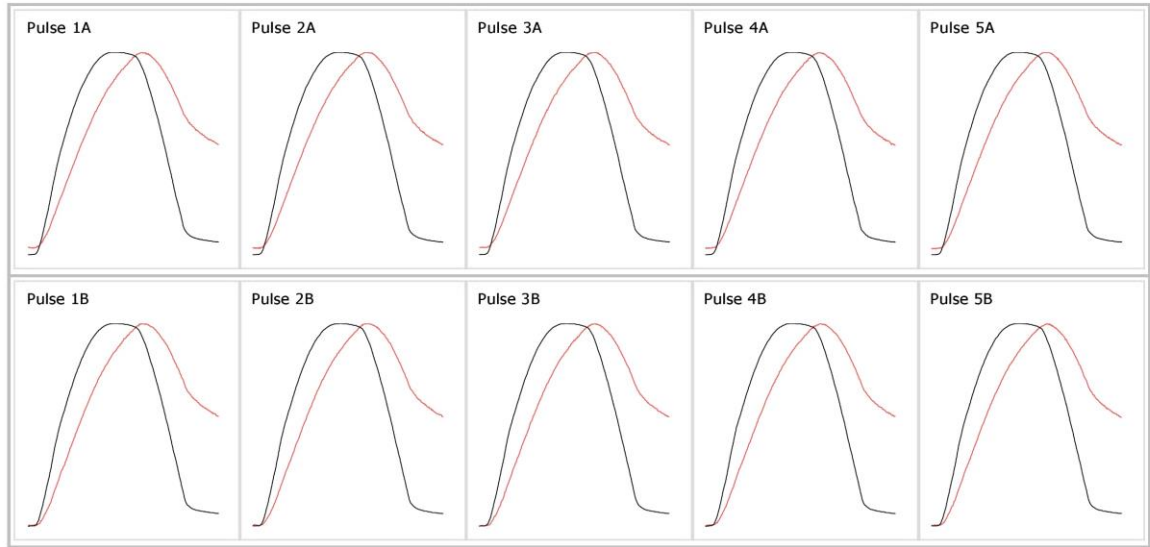
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 07 May 2025 @ 07:12  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP07  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                      |      |
|----------------------|------|
| Test Temperature (°) | 30   |
| Bulk Density (kg/m3) | 2323 |
| Diameter (mm)        | 101  |
| Thickness (mm)       | 64   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.789 | 1.790 | 1.790 | 1.790 | 1.789 | 1.789  | 1.880 | 1.880 | 1.879 | 1.879 | 1.880 | 1.879  | 1.834    |
| Horizontal Stress (kPa)          | 175.0 | 175.0 | 175.0 | 175.0 | 175.0 | 175.0  | 183.8 | 183.8 | 183.8 | 183.7 | 183.8 | 183.8  | 179.4    |
| Load-Area Factor                 | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | 0.69     |
| Horizontal Deformation (um)      | 4.68  | 4.68  | 4.68  | 4.68  | 4.68  | 4.68   | 4.86  | 4.86  | 4.86  | 4.86  | 4.86  | 4.86   | 4.77     |
| Load Rise Time (ms)              | 123   | 124   | 123   | 123   | 123   | 124    | 123   | 123   | 124   | 124   | 124   | 124    | 124      |
| Measured Stiffness (MPa)         | 3856  | 3867  | 3857  | 3858  | 3874  | 3862   | 3894  | 3894  | 3894  | 3877  | 3869  | 3886   | 3874     |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 4059  | 4057  | 4060  | 4060  | 4078  | 4063   | 4100  | 4100  | 4086  | 4069  | 4060  | 4083   | 4073     |

Data File 30 - EP07\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

**cooper**  
technologies

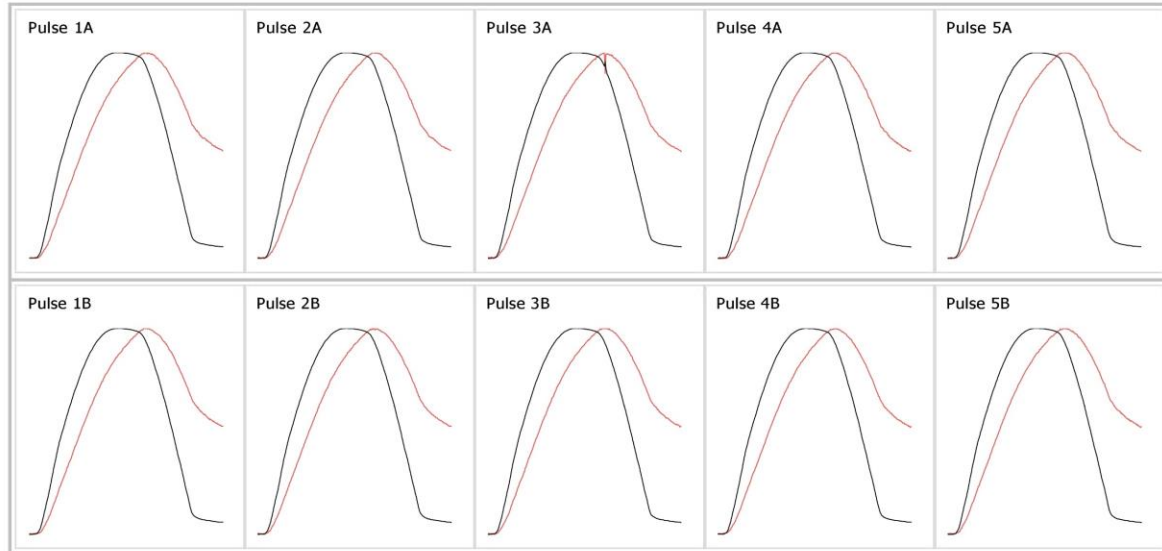
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 07 May 2025 @ 07:20  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP08  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                       |                      |      |
|-----------------------|----------------------|------|
| <input type="radio"/> | Test Temperature (°) | 30   |
| <input type="radio"/> | Bulk Density (kg/m3) | 2318 |
|                       | Diameter (mm)        | 101  |
|                       | Thickness (mm)       | 65   |

|                       |                               |      |
|-----------------------|-------------------------------|------|
| <input type="radio"/> | Conditioning Pulses           | 10   |
| <input type="radio"/> | Poissons Ratio                | 0.35 |
|                       | A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
|                       | A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 2.085 | 2.084 | 2.084 | 2.084 | 2.084 | 2.084  | 2.049 | 2.049 | 2.049 | 2.050 | 2.049 | 2.049  | 2.067    |
| Horizontal Stress (kPa)          | 202.9 | 202.8 | 202.8 | 202.8 | 202.9 | 202.8  | 199.4 | 199.5 | 199.4 | 199.5 | 199.4 | 199.4  | 201.1    |
| Load-Area Factor                 | 0.68  | 0.68  | 0.69  | 0.68  | 0.69  | 0.68   | 0.68  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.68  | 0.69   | 0.69     |
| Horizontal Deformation (um)      | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95   | 4.89  | 4.89  | 4.89  | 4.89  | 4.89  | 4.89   | 4.92     |
| Load Rise Time (ms)              | 125   | 125   | 126   | 125   | 124   | 125    | 125   | 124   | 124   | 124   | 125   | 124    | 124      |
| Measured Stiffness (MPa)         | 4187  | 4194  | 4181  | 4204  | 4214  | 4196   | 4172  | 4169  | 4179  | 4161  | 4179  | 4172   | 4184     |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 4387  | 4394  | 4387  | 4405  | 4431  | 4401   | 4374  | 4385  | 4396  | 4376  | 4382  | 4382   | 4392     |

Data File 30 - EP08\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

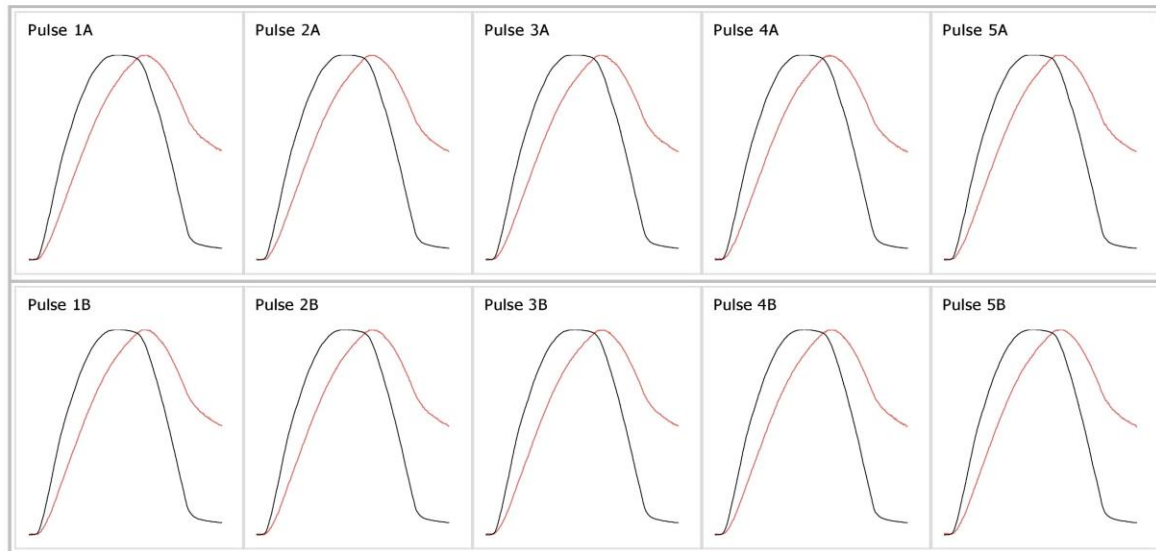
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 07 May 2025 @ 08:35  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP09  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Test Temperature (°)              | 30   |
| Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> ) | 2345 |
| Diameter (mm)                     | 101  |
| Thickness (mm)                    | 64   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.922 | 1.920 | 1.920 | 1.921 | 1.921 | 1.921  | 1.898 | 1.898 | 1.898 | 1.899 | 1.898 | 1.898  | 1.910    |
| Horizontal Stress (kPa)          | 189.6 | 189.4 | 189.4 | 189.5 | 189.5 | 189.5  | 187.3 | 187.3 | 187.2 | 187.4 | 187.2 | 187.3  | 188.4    |
| Load-Area Factor                 | 0.69  | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68   | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | 0.69     |
| Horizontal Deformation (um)      | 4.94  | 4.94  | 4.94  | 4.94  | 4.94  | 4.94   | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95  | 4.95   | 4.94     |
| Load Rise Time (ms)              | 124   | 125   | 125   | 125   | 125   | 125    | 126   | 126   | 126   | 125   | 125   | 125    | 125      |
| Measured Stiffness (MPa)         | 3949  | 3962  | 3963  | 3952  | 3970  | 3959   | 3890  | 3909  | 3902  | 3917  | 3931  | 3910   | 3935     |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 4145  | 4147  | 4148  | 4136  | 4155  | 4146   | 4080  | 4101  | 4094  | 4122  | 4138  | 4107   | 4127     |

Data File 30 - EP09\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

**cooper**  
TECHNOLOGY

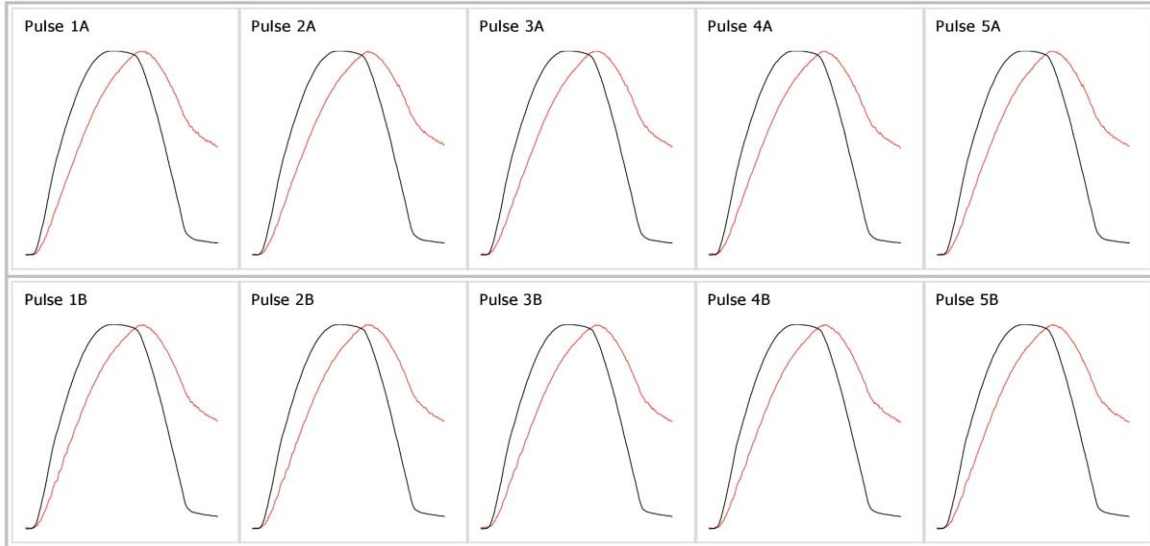
**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 07 May 2025 @ 09:08  
Report Number  
Operator AHMED BEN SEDDIK  
Specimen ID 30 - EP10  
Client Name

Lab Address LTP Sud

|                      |      |
|----------------------|------|
| Test Temperature (°) | 30   |
| Bulk Density (kg/m3) | 2321 |
| Diameter (mm)        | 102  |
| Thickness (mm)       | 64   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 2.031 | 2.032 | 2.031 | 2.031 | 2.031 | 2.032  | 2.068 | 2.067 | 2.068 | 2.068 | 2.067 | 2.067  | 2.049    |
| Horizontal Stress (kPa)          | 198.5 | 198.6 | 198.5 | 198.5 | 198.5 | 198.6  | 202.1 | 202.0 | 202.1 | 202.1 | 202.0 | 202.1  | 200.3    |
| Load-Area Factor                 | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68   | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68  | 0.68   | 0.68     |
| Horizontal Deformation (um)      | 4.85  | 4.85  | 4.85  | 4.85  | 4.85  | 4.85   | 4.91  | 4.91  | 4.91  | 4.91  | 4.91  | 4.91   | 4.88     |
| Load Rise Time (ms)              | 123   | 123   | 124   | 123   | 124   | 124    | 125   | 125   | 125   | 125   | 125   | 125    | 124      |
| Measured Stiffness (MPa)         | 4194  | 4142  | 4215  | 4182  | 4176  | 4182   | 4199  | 4238  | 4227  | 4234  | 4234  | 4226   | 4204     |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 4393  | 4337  | 4400  | 4381  | 4381  | 4378   | 4392  | 4434  | 4422  | 4429  | 4429  | 4421   | 4400     |

Data File 30 - EP10\_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date

**cooper**  
TECHNOLOGY

**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test 07 May 2025 @ 09:31

Report Number

Operator AHMED BEN SEDDIK

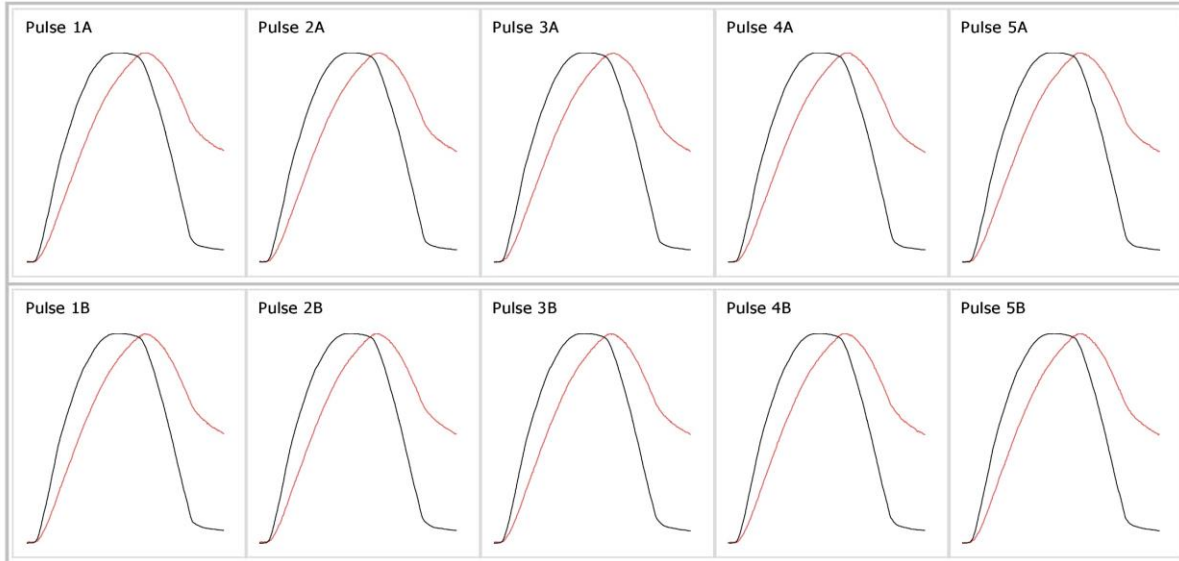
Specimen ID 30 - EP11

Client Name

Lab Address LTP Sud

|                      |      |
|----------------------|------|
| Test Temperature (°) | 30   |
| Bulk Density (kg/m3) | 2314 |
| Diameter (mm)        | 101  |
| Thickness (mm)       | 64   |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Conditioning Pulses           | 10   |
| Poissons Ratio                | 0.35 |
| A & B Target Rise Time (ms)   | 124  |
| A & B Target Deformation (um) | 5    |

**Test Results**

|                                  | 1A    | 2A    | 3A    | 4A    | 5A    | Mean A | 1B    | 2B    | 3B    | 4B    | 5B    | Mean B | Mean A&B     |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN)           | 1.929 | 1.930 | 1.929 | 1.930 | 1.929 | 1.929  | 1.932 | 1.932 | 1.933 | 1.932 | 1.932 | 1.932  | <b>1.931</b> |
| Horizontal Stress (kPa)          | 187.8 | 187.9 | 187.7 | 187.8 | 187.7 | 187.8  | 188.0 | 188.1 | 188.1 | 188.1 | 188.0 | 188.1  | <b>187.9</b> |
| Load-Area Factor                 | 0.68  | 0.69  | 0.69  | 0.67  | 0.68  | 0.68   | 0.69  | 0.68  | 0.69  | 0.69  | 0.69  | 0.69   | <b>0.68</b>  |
| Horizontal Deformation (um)      | 4.93  | 4.93  | 4.93  | 4.93  | 4.93  | 4.93   | 4.88  | 4.88  | 4.88  | 4.88  | 4.88  | 4.88   | <b>4.90</b>  |
| Load Rise Time (ms)              | 125   | 124   | 124   | 126   | 125   | 125    | 123   | 124   | 124   | 124   | 123   | 123    | <b>124</b>   |
| Measured Stiffness (MPa)         | 3910  | 3921  | 3920  | 3927  | 3926  | 3921   | 3955  | 3962  | 3957  | 3968  | 3969  | 3962   | <b>3942</b>  |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 4088  | 4111  | 4112  | 4093  | 4105  | 4102   | 4160  | 4154  | 4151  | 4163  | 4177  | 4161   | <b>4131</b>  |

Data File 30 - EP11\_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:  
Poisson's Ratio:  
Description of asphaltic material:  
How it was mixed:  
How it was compacted:  
How bulk density was determined:  
How the specimen was stored:

Signed

Date