REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'étude de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Thème

Influence de la qualité de sable sur le comportement mécanique de l'enrobé bitumineux

---

Présenté par

TEMMAR Abdelmoumane **KHELIL Cherfi Aymen**

Proposé et Dirigé par

BENSAADA Abdelhalim

Promotion Juin 2021

Résumé

Ce travail est consacré à l'étude de l'influence de la qualité de sable sur le comportement mécanique de l'enrobé bitumineux. Les sables utilisés pour cette étude est de sable de carrière, sable de dune (fine) et sable d'oued (grossier).

L'étude résume que :

Nous montrons que la qualité de sable influe sur la formulation et sur les performances de l'enrobé, la compacité et la résistance aux déformations de fluage.

Pour l'enrobé bitumineux fabriqué par le sable de carrière, les résultats montrent, une bonne résistance aux déformations permanentes.

Mots clés : enrobé bitumineux, sable oued, sable de dune, sable carrière, gravier (3 /8,8 /15).

ملخص

هذا العمل مخصص لدراسة تأثير جودة الرمل على السلوك الميكانيكي لمزيج الإسفلت. الرمال المستخدمة في هذه الدراسة هي رمل المحجر ، الكثبان الرملية (الناعمة) والرمل العود (الخشن).

تلخص الدراسة ما يلي:

نظهر أن جودة الرمل تؤثر على صياغة وأداء الأسفلت ، والاكتناز ومقاومة تشوهات الزحف.

بالنسبة لخليط الإسفلت الناتج عن رمل المحجر ، تظهر النتائج مقاومة جيدة للتشوه الدائم.

الكلمات الرئيسية: معطف البيتومين، رمل الواد، رمل الكثبان، رمل وظيفي، حصى (15/ 8,8/ 3).

Abstract

This work is devoted to the study of the influence of sand quality on the mechanical behavior of asphalt mix. The sands used for this study are quarry sand, dune sand (fine) and oued sand (coarse).

The study summarizes that:

We show that the quality of the sand influences the formulation and the performance of the asphalt, the compactness and the resistance to creep deformations.

For asphalt mix produced by quarry sand, the results show good resistance to permanent deformation.

Keywords: bitumine coat, sand oued, sand of dune, career sand, gravel (3 /8,8 /15).

Remerciement

Le plus grand Merci revient à Allah qui lui seul m'a guidé dans le bon sens durant ma vie et qui m'aidé à réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directeur de mémoire, Mr bensaada.abdelhalim. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Enfin, je remercie mes amis qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

à laboratoire centrale des travaux publics (lctp)

et sont chefs laboratoires, ingénieurs et opérateurs qui aider moi pour des résultats parfaits et donner moi une grande expérience Je lui souhaite la réussite dans ces études.

A mes collègues fidèles amis avec qui j'ai partagé le

Et à tous qui m'ont connu.

Sans oublier tous les professeurs qui ce soit du primaire, du moyen , du secondaire ou de l'enseignement supérieure.

Sommaire

Résumé 2
ملخص 2
Abstract 2
Remerciement 4
Dédicace 6
Liste des figures 10
Liste des tableaux 12
Introduction générale 1
Chapitre I : Généralité sur les enrobés bitumineux 2
I.1. Introduction 2
I.2. Définition de l'enrobé bitumineux 2
I.3. Sollicitation des couches en enrobes bitumineux [3] 3
I.3.1. Effet du trafic 3
I.3.2. Effet de la température 3
I.4. Constituants d'un enrobé bitumineux 4
I.4.1. Granulats 4
I.4.2. Le sable 6
I.4.3. Les bitumes 9
I.5. Classification des enrobés bitumineux 13
I.5.1. D'après le mode de fabrication 13
I.5.2. D'après la compacité 14
I.6. Les grandes classes de comportement des enrobés bitumineux 14
I.7. Formulation de l'enrobé 15
I.7.1. Les méthodes de formulation des enrobés bitumineux 15
I.8. Niveau de formulation des enrobés bitumineux 17
I.9. Essais de performance sur les enrobés bitumineux 18
I.9.1. Essai Marshall (NF EN 12697-34) [21] 18
I.9.2. Essai Duriez ou essai de compression simple (EN 12697-12) [22] 18
I.9.3. Essai de cisaillement à la presse de giration « PCG » (NF EN 1269-91) [23] 19
I.9.4.Essai d'orniérage (EN 12697-22) [24] 20
I.9.5. Essai de module complexe (EN 121697 – 26) [25] 21
I.9.6. Essai de fatigue (NF EN 12697-24 Mars 2005) [26] 21
I.10. Conclusion 22
Chapitre II : Présentation des matériaux d'étude 23

II.1 Les granulats 23
II.1.1. Analyse granulométriques (NF P 18-560) 23
II.1.2. Essai d'équivalent de sable à 10% des fines (NF P 18-597) 27
II.1.3. Essai Los-Angeles (NF P 18-573) 28
II.1.4. Essai Micro-Deval (NF P 18-572) 29
II.1.5. Masse volumique absolue des agrégats (NF P 18-554) 30
II.2. Le bitume 30
II.2.1. Essai de densité relative A 25° C (NF T 66 – 007) 31
II.2.2. Essai de pénétrabilité a l'aiguille (NF EN 1426) 31
II.2.3. Essai de point de ramollissement (NF EN 1427) 32
II.2.4. Conclusion sur le bitume 33
Chapitre III : Etude de formulation de l'enrobé bitumineux 33
III.1. Etude de formulation de l'enrobé bitumineux 33
III.1. 1. Etude de formulation de l'enrobé bitumineux contenant de sable 0/3 de carrière 33
III.1. 2. Etude de formulation de l'enrobé bitumineux contenant de sable 0/3 de dune ... 36
III.1. 3. Etude de formulation de l'enrobé bitumineux contenant de sable 0/3 d'oued 38
III.4. Conclusion 41
Chapitre IV: Expérience en laboratoire et résultats d'essais sur l'enrobé bitumineux 42
IV.1. Préparation de l'enrobé bitumineux 42
IV.2. Expérience en laboratoire et résultat des essais sur l'enrobé bitumineux 43
IV.2.1. Essai à la Presse à Cisaillement Giratoire « PCG » (NF EN 12697 -31) 43
IV.2.2. Essai Marshall (NF EN 12697-30) 47
IV.2.3. Essai de sensibilité à l'eau à 18°C « Duriez » (EN 12697-12) 49
IV.3. Conclusion 51
Conclusion générale 52
Références bibliographiques 53

Liste des figures

Figure I.1 : Enrobé bitumineux [2] 2
Figure I.2: Schématisation des sollicitations induites par le trafic [3] 3
Figure I.3 : Les granulats [4] 4
Figure I.4 : Sable roulé siliceux 8
Figure I.5 : Les sables de concassage calcaires 8
Figure I.6 : Les sables de dune 9
Figure. I.7 : Le bitume. 9
Figure. I.8: Principe de fabrication du bitume. 10
Figure. I.9 : Composition des bitumes. 11
Figure I.10 : Essai de pénétrabilité pour le bitume. 12
Figure I. 11 : Détermination du point de ramollissement. 12
Figure I.12 : Essai de ductilité du bitume. 13
Figure I.13 : Principe de l'essai de Température Frass. 13
Figure I.14 : Schématisation des sollicitations induites par la température. 15
Figure I.15 : Les cinq niveaux de formulations des bétons bitumineux. 17
Figure I. 16 : Essai Marshall 18
Figure. I.17 : Le principe de l'essai Duriez. 19
Figure I. 18 : Principe du compactage a la presse à cisaillement giratoire PCG 20
Figure I.19 : Appareillage de l'essai d'orniérage. 20
Figure I.20 : l'appareil de module complexe. 21
Figure I.21: Appareillage de l'essai de fatigue. 21
Figure II.1: Equipement d'essai d'analyse granulométriques. 24
Figure II. 2 : Courbe granulométriques du granulat 3/8 24
Figure II. 3 : Courbe granulométriques du granulat 8/15 25
Figure II. 4 : Courbe granulométriques de sable de carrière. 25
Figure II. 5 : Courbe granulométriques de sable de dune. 26
Figure II. 6 : Courbe granulométriques de sable d'oued. 26
Figure II.7 : Essai d'équivalent de sable à 10% des fines. 27
Figure II.8 : Essai Los-Angeles. 28
Figure II.9 : Essai Micro-Deval 29
Figure II.10 : Essai masse volumique absolue. 30
Figure II.11 : Densité relative de bitume pure. 31
Figure III.1 : Courbe de mélange granulaire de référence BB 0/14 (Sable de carrière). 33
Figure III.2 : Courbe de mélange granulaire de référence BB 0/14 (Sable de dune). 36
Figure III.3 : Courbe de mélange granulaire de référence BB 0/14 (Sable d'oued). 39
Figure IV.1 : Préparation des matériaux. 42
Figure IV. 2 : Mélange d'un enrobé bitumineux chaud. 43
Figure IV. 3 : Déroulement de l'essai PCG 45
Figure IV. 4 : Pourcentage des vides en fonction de nombre de girations des enrobés bitumineux étudiés 46
Figure IV. 5 : Déroulement de l'essai Marshall. 48
Figure IV. 6 : Compacité des différents mélanges 48
Figure IV. 7 : Stabilité et fluage Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique. 49
Figure IV. 8 : Conservation des éprouvettes dans l'eau et l'air a 7 jours 50
Figure IV. 9 : Résistance moyenne à l'eau et à l'air des mélanges d'enrobé bitumineux 51

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Résultats d'équivalant de sable 27
Tableau II.2 : Résultats de l'essai Los Angeles 3/8 et 8/15 28
Tableau II.3 : Résultats de l'essai Micro-Deval 3/8 et 8/15 29
Tableau II.4 : Masse volumique des sables et des granulats 30
Tableau 0 5Tableau II.5 : Densité relative de bitume 31
Tableau II.6 : Pénétrabilité de bitume 32
Tableau II.7 : Point de ramollissement de bitume 32
Tableau III. 1 : Pourcentages pondéraux des différentes classes 34
Tableau III. 2 : Modules de richesses et teneures en liant correspondantes 35
Tableau III. 3 : Composition de la formule utilisée 35
Tableau III. 4 : Pourcentages pondéraux des différentes classes 36
Tableau III. 5 : Modules de richesses et teneures en liant correspondantes 37
Tableau III. 6 : Composition de la formule utilisée 38
Tableau III. 7 : Pourcentages pondéraux des différentes classes 39
Tableau III. 8 : Modules de richesses et teneures en liant correspondantes 40
Tableau III. 9 : Composition de la formule utilisée 41
Tableau IV. 1 : Désignation des enrobé bitumineux fabriqué 43
Tableau IV.2 : Spécifications relatives au pourcentage de vides 45
Tableau IV. 3 : Pourcentage des vides des mélanges 46
Tableau IV. 4 : Résultats de l'essai Duriez 50

Introduction générale

La route a toujours été un élément fondamental de la civilisation .Aujourd'hui nous vivons à l'heure ou la coopération internationale et le transport constituent une condition requise pour le progrès de l'humanité. Les pays du monde entier ont besoin d'atteindre un niveau approprié de développement routier. C'est pour cela que les routes ne doivent pas être seulement considérées sous le seul aspect économique mais aussi un élément essentiel de l'intégration des populations dans la société.

On appel enrobé bitumineux tout mélange de granulats et de liant hydrocarboné. Le terme inclut les mélanges dont le liant n'est pas forcément un bitume (goudron, liant à base de bitume fluidifié, ou modifié). Il est défini comme la composition de liant bitumineux (5 à 7% en masse), d'agrégats et sable et de filler ou fine et parfois d'autres types de granulats ou éléments de renfort.

La stabilité et la durabilité des chaussées routières et aéronautiques en enrobé bitumineux dépendent principalement de sa résistance aux sollicitations, dans le temps et sur le site pour des conditions spécifiques extrêmes, telles que les particularités de climat dans les différentes régions et les chargements des nouvelles conceptions d'avions très gros porteurs.

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et de réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière des sables.

Cette étude consiste à l'étude au laboratoire de l'influence de la qualité de sable sur le comportement mécanique de l'enrobé bitumineux à travers l'essai de Marshall, Duriez et presse de cisaillement giratoire (PCG).

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique (généralité sur les enrobé bitumineux).
- Le deuxième chapitre étudie les caractéristiques physiques, et mécanique, des matériaux utilisés (Bitume, sable de carrière, sable de dune, sable d'Oued, gravier 3/8 et 8/15).
- Le troisième chapitre consiste à l'étude de formulation à base de trois sables.
- Le quatrième chapitre consiste à l'expérience en laboratoire et résultat des essais sur l'enrobé bitumineux
- En fin, une conclusion générale reprend les principaux résultats dégagés lors de cette étude et rapporte les intérêts pratiques qui en découlent.

Chapitre I :

Généralité sur les enrobés bitumineux

Chapitre I : Généralité sur les enrobés bitumineux

I.1. Introduction

Les chaussées bitumineuses, sous l'effet conjugué du trafic en poids lourds croissant et d'une température élevée, subissent des dégradations de type déformation. La résistance aux déformations permanentes est un paramètre important qui rentre dans la conception des mélanges bitumineux appelé « stabilité », et il se définit comme étant l'aptitude d'un mélange bitumineux à résister aux déformations permanentes excessives sous l'effet des facteurs suivants :

- La charge : importance, fréquence, et vitesse d'application des charges,
- La température : importance et gradient thermique,
- Les granulats : type, forme et dimension,
- Le liant : type et teneur, et la qualité de la mise en œuvre.

I.2. Définition de l'enrobé bitumineux

Un enrobé bitumineux est défini comme un mélange de liant bitumineux (5 à 7 % en masse), d'agrégats et de fines (passant à 80 µm). L'obtention des enrobés par mélange des granulats et du bitume fait appel à des propriétés bien spécifiques aux liants hydrocarbonés en général et donc au bitume en particulier [1]:

- Un pouvoir d'adhésion aux granulats,
- Une consistance variable avec la température.

Dans leur domaine d'utilisation, les enrobés présentent des caractéristiques mécaniques variables selon leur sollicitation par le climat et le trafic routier.



Figure I.1 : Enrobé bitumineux [2]

I.3. Sollicitation des couches en enrobes bitumineux [3]

Les principales sollicitations externes imposées sur les enrobes bitumineux sont les chargements mécaniques dus aux trafics et les sollicitations climatiques. Sous ces sollicitations, des phénomènes complexes, couplant mécanique, thermique, physique et chimie se produisent.

I.3.1. Effet du trafic

L'effet du trafic est issu du passage des véhicules qui imposent un chargement sur la surface de la chaussée sous forme de chargements surfaciques répétés. Les amplitudes de chargement sont faibles, produisant des déformations de l'ordre de 10^{-3}. Le calcul des efforts et des déformations, effectuées par un modèle multicouche élastique linéaire isotrope, donne une bonne approximation des modes de fonctionnement de chaque couche suivant sa position en profondeur dans la structure figure I-2 :

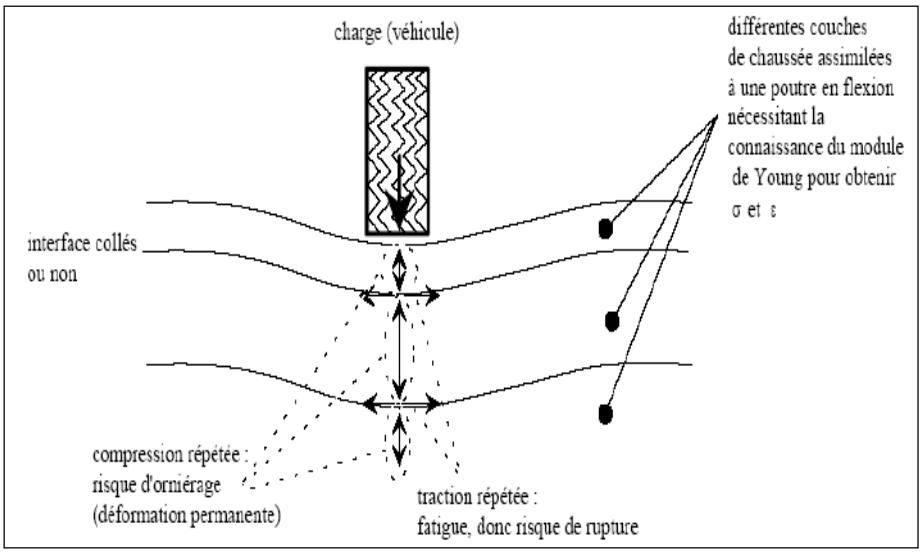


Figure I.2: Schématisation des sollicitations induites par le trafic [3]

Sous les sollicitations cycliques du trafic, la base des couches structurelles subit une traction répétée qui peut créer des micros dégradations et entrainer la ruine des couches. Ce phénomène de fatigue peut entrainer des fissures au travers de la chaussée. Dans le même temps, la partie supérieure de chaque couche est soumise aux efforts de compression répétée qui peuvent entrainer des déformations permanentes induisant un orniérage à la surface de la chaussée.

I.3.2. Effet de la température

Outre les chargements mécaniques, les chaussées subissent des chargements consécutifs aux variations de la température. Ces variations thermiques entrainent des changements de la rigidité du mélange : à température basse le mélange bitumineux est rigide et fragile tandis qu'à haute température la rigidité du mélange chute et que sa ductilité augmente. D'autre part, le changement de température peut entrainer des contraintes et des déformations au sein des

matériaux en raison des contractions-dilatations thermiques. Ce phénomène est particulièrement important : il peut provoquer des fissures dues aux cycles thermiques à basses températures ou des dégradations aux interfaces entre des couches.

I.4. Constituants d'un enrobé bitumineux

I.4.1. Granulats

Les granulats représentent près de 95 % d'un enrobe bitumineux. Il est donc important de bien les caractériser afin de faire un choix optimal lors de la formulation et de la fabrication d'un enrobe performant.

Le granulat est un matériau granulaire utilise en construction ou bien est un ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm, qui participe intimement aux performances et à la durabilité des ouvrages.



Figure I.3 : Les granulats [4]

I.4.1.1. Caractéristiques physiques et propriétés des granulats

Nous citons quelques essais de laboratoire permettant de déterminer certaines caractéristiques mécaniques des granulats :

a- Résistance à l'attrition et à l'usure

L'essai utilise est le Micro Deval a sec ou en présence d'eau. Cette mesure ayant pour but de chiffrer l'usure qui se produit d'une part entre les gravillons dans une assise et d'autre part entre le pneumatique et le granulat a la surface des revêtements. Comme l'usure est très influencée par la présence d'eau, l'essai le plus représentatif est le Macro Deval en présence d'eau [5].

b- Résistance à la fragmentation (chocs)

Elle est mesurée par le coefficient "Los Angeles". Cette mesure est destinée a évaluer la résistance des granulats a la fragmentation sous l'action du trafic [6].

c- Résistance au polissage

Cet essai permet de chiffrer la résistance au polissage des gravillons utilises pour les couches de surface. On utilise une machine à tambour sur lequel sont disposées des plaques support de granulat [7].

I.4.1.2. Rôles des granulats dans l'enrobe

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. À court ou à moyen terme, selon la densité du trafic, la chaussée peut devenir glissante. Cet aspect fait l'objet de recherches en laboratoire et sur la route dans le but de déterminer les textures de surface et les compositions minéralogiques des matériaux granulaires afin d'obtenir des mélanges bitumineux rugueux qui répondent aux conditions exigées.

Ainsi les caractéristiques de surface et de forme des granulats influençant le lien bitume-granulat, la maniabilité et la performance des enrobés bitumineux ; Certains phénomènes d'orniérage ou de dés-enrobage peuvent s'expliquer par l'interaction entre le bitume et les granulats ou d'après la forme des granulats. 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 [8].

I.4.1.3. 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'a 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

Le filler est constitué des éléments très fins, de diamètre inférieur à 63 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 [9].

Le mélange du filler avec le liant constitue le mastic qui confère sa stabilité à l'enrobe, et l'épaisseur du film de mastic est caractérisée par un critère s'appelle le module de richesse.
La propreté du filler, en particulier sa faible teneur en argile, est primordiale afin de garantir un bon comportement mécanique [9].
L'arrangement des différentes classes granulaires forme la courbe granulométrique d'un mélange bitumineux.

I.4.2. Le sable

Le sable est un matériau granulaire composé de particules (quartz, micas, feldspaths) issues de la dégradation de roches. La dimension des grains de sable est comprise entre 1/16^{e} de millimètre et 2 millimètres. Le sable peut également être obtenu de façon artificielle, par découpage et/ou broyage mécanique de roches. Ses grains sont généralement plus anguleux que ceux du sable naturel qui ont été soumis au lissage du vent et de l'eau.

Le sable est souvent le produit de la décomposition du granite du fait de l'érosion. Ainsi, le plus fréquent de ses composants est-il le quartz, le constituant le moins altérable du granite.
Les grains de sable sont assez légers pour être transportés par le vent et l'eau. Ils s'accumulent alors pour former des plages, des dunes. Un vent violent qui se charge en sable est une « Tempête de sable ».
Le sable est utilisé pour faire du béton et comme matière première du verre. Il peut être utilisé pour filtrer les liquides. Du fait de sa facilité de manipulation, il est également employé lorsque l'on a besoin d'acheminer de la matière (peu importe sa nature) dans un endroit, par exemple pour servir de lest ou pour protéger (sac de sable contre les éclats d'explosion et les balles).

I.4.2.1. Composition du sable

En général, les gros granulats sont des constitués de fragments de roches tandis que les sables fins sont plutôt constitués de minéraux détachés de leur roche d'origine. Les grains de sable aussi être des débris d'origine organique et même synthétique pour les sables récents. En plus de fragments de coquillages, on trouve maintenant sur les plages marines actuelles une certaine proportion de débris d'origine synthétique comme le verre, la terre cuite, la porcelaine et certains plastiques.
Cependant, les débris d'origine synthétique ne sont présents que dans les sables de plages et de delta marins actuels en formation et les débris d'origine organique ne sont abondants que dans les sables marins. Les sables d'origine glaciaire ou fluvioglaciaire ne contiennent jamais de débris synthétiques et très rarement des débris organiques.

I.4.2.2. Propriétés physiques du sable

Les matériaux granulaires comme le sable, notamment lorsqu'ils sont secs, présentent des propriétés physiques tout à fait particulières. Des propriétés qui se situent à mi-chemin entre celles des fluides et celles des solides. Ainsi, par exemple, le sable épouse-t-il parfaitement la forme du récipient dans lequel on va le verser, tout comme le ferait l'eau. En revanche, il peut s'écouler par avalanches successives si la pente dépasse un angle de 30 degrés.

On peut classer les sables selon trois paramètres dont:

a) La granularité : permet de séparer les sable en trois catégories sont:

- Sables fins.
- Sables moyens.
- Sables grossiers.

b) La propreté et la teneur en fines : elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

c) La nature minéralogique : En général, les sables peuvent être classés comme suit:

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sables calcaires.

Dans le cas d'utilisation de sable de site terrestre, il est recommandé d'éliminer la couche superficielle généralement souillée (salie) de matières organiques qui affectent son mouillage par l'eau de gâchage.

I.4.2.3. Familles de sables

Trois familles de sables se distinguent :

a) Les sables roulés siliceux :

Dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. En général, ils sont dragués dans les Oueds. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des Oueds. Ce matériau est donc devenu moins intéressant économiquement.



Figure I.4 : Sable roulé siliceux

b) Les sables de concassage calcaires

Sont le produit d'un processus industriel contrôlé de concassage, de lavage et de criblage appliqué à des roches calcaires exploitées en carrières, la contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant.



Figure I.5 : Les sables de concassage calcaires

c) Le sable de dune

Qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir qui peut remplacer par excellence les deux types de sables suscités.



Figure I.6 : Les sables de dune

I.4.3. Les bitumes

Les bitumes obtenus par raffinage des pétroles bruts et des résidus pétroliers Le bitume présente des propriétés complexes, soit sur le plan de sa composition chimique ou soit sur sa réponse aux sollicitations mécaniques. Il possède un grand pouvoir adhésif pour agglomérer. Les variations importantes de sa viscosité en fonction de la température permettent un mélange adéquat avec les granulats lors dans les différentes étapes de fabrication et de mise en œuvre de l'enrobe et par conséquent une bonne stabilité lors de l'exploitation de la chaussée, sous sollicitation mécaniques, thermiques et climatiques.



Figure. I.7 : Le bitume.

I.4.3.1. Fabrication des bitumes

Les bitumes utilisés de nos jours pour le revêtement des routes et certains usages industriels sont fabriqués en raffinerie à partir d'un brut réduit, qui est lui-même issu de la distillation des pétroles bruts [10]. Pour fabriquer des bitumes de spécifications données, la première condition consiste à choisir un pétrole brut suffisamment lourd, autrement dit, celui qui présente après distillation atmosphérique une quantité de résidu (brut réduit) la plus importante. Il est à signaler que sur les 1300 pétroles bruts référencés dans le monde, 10% sont aptes à donner des bitumes

respectant les spécifications d'usage [11]. Il existe quatre méthodes de fabrication des bitumes à savoir [12]:

- **La distillation :** C'est un procédé physique d'évaporation des constituants volatils où la phase vapeur est éliminée et condensée, il reste en fond de colonne du bitume. On distingue deux procédés de distillation : (**Distillation à la pression atmosphérique, Distillation sous vide).**
- **L'extraction (Désasphaltage) :** Ce procédé consiste à fabriquer un bitume par solubilité du fond de la distillation sous vide dans un solvant (le propane et le butane), donc ce procédé est utilisé comme complément de la distillation.
- **Le Soufflage :** Cette opération consiste à injecter de l'air dans le résidu de la distillation sous vide sous des températures comprises entre 250 et 300°C.
- **Le Craquage :** Le craquage est un traitement des fonds de colonne sous vide à des hautes températures comprises entre 450 et 500°C et à des pressions allant de 2 à 25 bars. Dans ces conditions, certaines grosses molécules des fractions lourdes se craquent pour former des molécules plus petites, tandis que les plus stables résistent au traitement. Ces bitumes n'ont pas d'application routière.

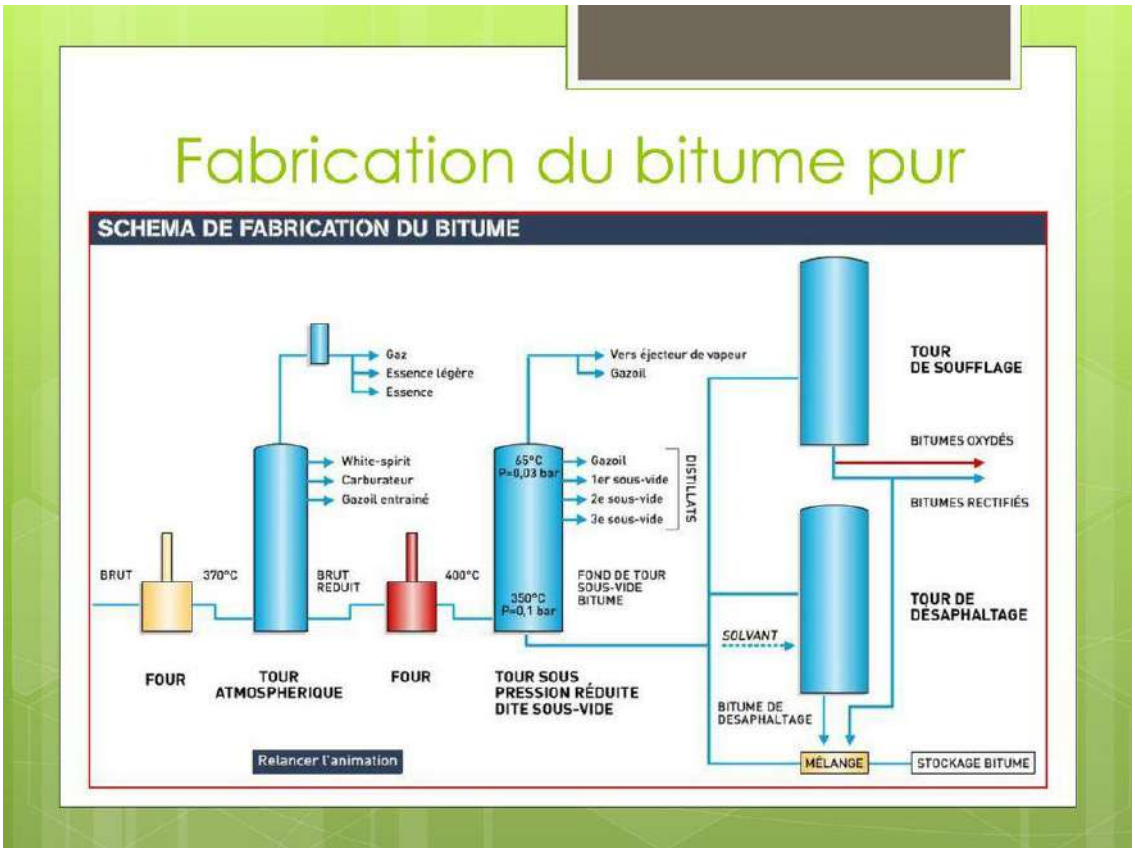


Figure. I.8: Principe de fabrication du bitume.

A- Composition des bitumes

Les bitumes sont des mélanges complexes de composés hydrocarbonés constitués de carbone (79 à 88% massique) et d'hydrogène (7 à 13%). On note aussi la présence de faibles quantités d'oxygène (2 à 8%) et d'azote (jusqu'à 8%), ainsi que des traces de nombreux métaux (Fer, Nickel,…) [13]. La composition élémentaire d'un bitume dépend essentiellement de l´origine de son brut et d´une manière moindre, des techniques de raffinage [14].

Par précipitation avec du n-heptane, on peut séparer les bitumes en deux fractions à savoir [15]:

- les asphaltènes : fraction insoluble, produit solide apportant au bitume sa cohésion et sa dureté et constituant entre 5 et 20 % du bitume;
- Les maltènes, fraction soluble, produits huileux (molécules moins grosses) dans lesquels baignent les asphaltènes. Les maltènes peuvent être séparées par la chromatographie liquide en trois principaux sous familles, soit :
    - Les huiles saturées,
    - Les huiles aromatiques,
    - Les résines.

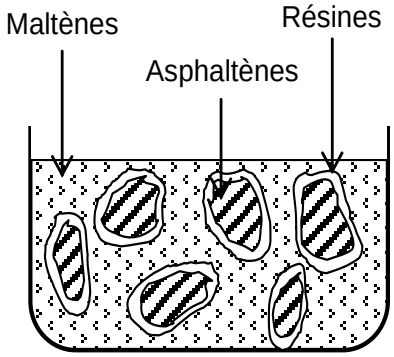


Figure. I.9 : Composition des bitumes.

B- Caractérisation des bitumes

Pour caractériser les bitumes, plusieurs types d'essais peuvent être utilisés. On peut les classer en trois catégories principales à savoir :

- Les analyses physico-chimiques.
- Les essais mécaniques.
- Les essais rhéologiques.

Les essais mécaniques :

Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF T 66-004) [16] **:** La pénétrabilité du bitume représente la mesure de l'enfoncement (exprimé en dixièmes de millimètres) dans un échantillon de bitume, au bout d'un temps de 5 secondes, d'une aiguille dont le poids avec son support est de

100g. C'est donc une mesure de la consistance du bitume. La pénétrabilité la plus couramment utilisée est celle mesurée à 25°C.



Figure I.10 : Essai de pénétrabilité pour le bitume.

Point de ramollissement Bille Anneau (NF T 66-008) [17]**:** L'essai consiste à déterminer la température (notée TBA) pour laquelle une bille d'acier normalisée traverse un échantillon de bitume maintenu dans un anneau métallique. Il s'agit de la température à laquelle le bitume étudié atteint un certain degré de ramollissement.



Figure I. 11 : Détermination du point de ramollissement.

Ductilité (NF 66-006) [18]**:** Cet essai consiste à mesurer l'allongement, à l'instant précis de sa rupture d'une éprouvette de forme déterminée, étirée à une vitesse de 50*mm/min*, et à une température de 25°C. La mesure de la ductilité du liant permet de s'assurer du non fragilité de ce dernier.



Figure I.12 : Essai de ductilité du bitume.

Température de fragilité FRAASS (NF T 66- 006) [19]**:** La température de fragilité Frass correspond à la température à laquelle un film mince de bitume rompt sous l'effet d'une flexion, dans des conditions opératoires de fabrication et d'essai bien définies. Cet essai caractérise la fragilité du liant à basse température.

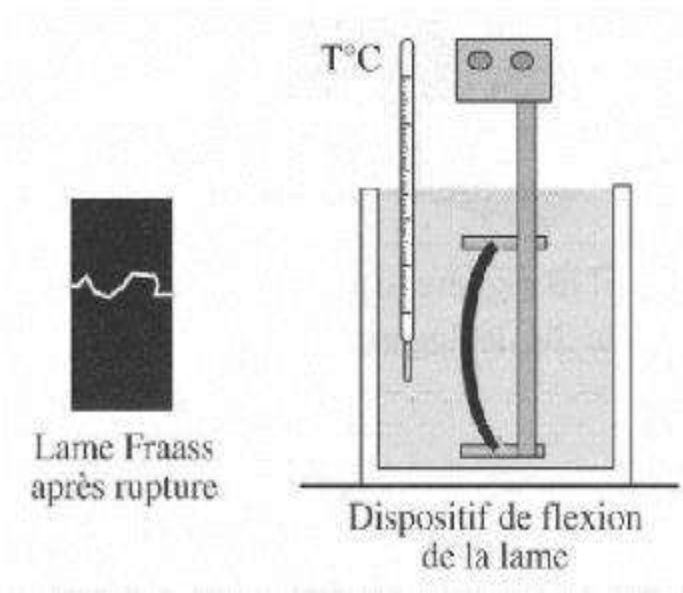


Figure I.13 : Principe de l'essai de Température Frass.

I.5. Classification des enrobés bitumineux

Dans le domaine très vaste des enrobes hydrocarbonés et vues leur composition et destination possibles, on a introduit une classification basée essentiellement sur le mode de fabrication et la compacité.

I.5.1. D'après le mode de fabrication

On distingue :

Les enrobés à chaud : caractérises par un passage des granulats dans un tambour sécheur pour les chauffer et les sécher. Le liant utilise peut être un bitume pur, fluxe ou fluidifie, un goudron ou un liant compose, mais le plus souvent un bitume pur.

Les enrobés à froid : préparés à partir de granulats qui ne sont pas passés dans un tambour sécheur. Le liant utilise peut être un bitume fluxe ou fluidifie, un goudron ou une émulsion.

I.5.2. D'après la compacité

On distingue :

Les enrobés denses : Dans lesquels le pourcentage des vides est inferieur a 10%. Les enrobes denses de haute qualité sont caractérisés par des spécifications plus sévères en ce qui concerne la qualité des granulats, la viscosité du liant, la courbe granulométrique, les performances mécaniques et le soin apporte à la fabrication.

Les enrobés semi-denses: dans lesquels le pourcentage des vides est compris entre 10 et 15%.

Les enrobés ouverts : dans lesquels le pourcentage des vides est supérieur à 15 %.

I.6. Les grandes classes de comportement des enrobés bitumineux

L'analyse des sollicitations et des dégradations observées sur chaussées, sous l'effet conjugué du trafic et de la température, montre qu'il convient principalement de prendre en compte et de caractériser quatre propriétés thermomécaniques pour les mélanges bitumineux [20] :

- Le module (rigidité) et sa dépendance vis-à-vis de la température et du mode de chargement,
- La fatigue,
- L'évolution des déformations permanentes,
- La fissuration et la propagation des fissures à basse température.

Les deux premières propriétés permettent de préciser l'effet structurel et son évolution dans le temps. La troisième est liée à la caractérisation de l'orniérage. La dernière qui fait apparaître des couplages thermo – mécaniques.

Les enrobés bitumineux ont un comportement complexe. La Figure I.14 permet d'identifier les quatre types de comportement principaux des enrobés bitumineux en considérant l'amplitude de la déformation $\boldsymbol{\varepsilon}$ et le nombre de cycles de chargement appliqués N :

- ❖ Pour un faible nombre de cycles de chargement et des déformations élevées (quelques pourcents), le comportement est fortement non linéaire.
- ❖ Pour des chargements comprenant quelques centaines de cycles et des déformations faibles ($< 10^{-4}$), le comportement est considéré viscoélastique linéaire (VEL).

- Le phénomène de fatigue se produit lors de chargements de plusieurs dizaines de milliers de cycles et des déformations ”faibles” qui favorisent le développement de l’endommagement.
- La production et l’accumulation des déformations permanentes sous un grand nombre de cycles de chargements favorisées par une température élevée est le quatrième type de comportement.

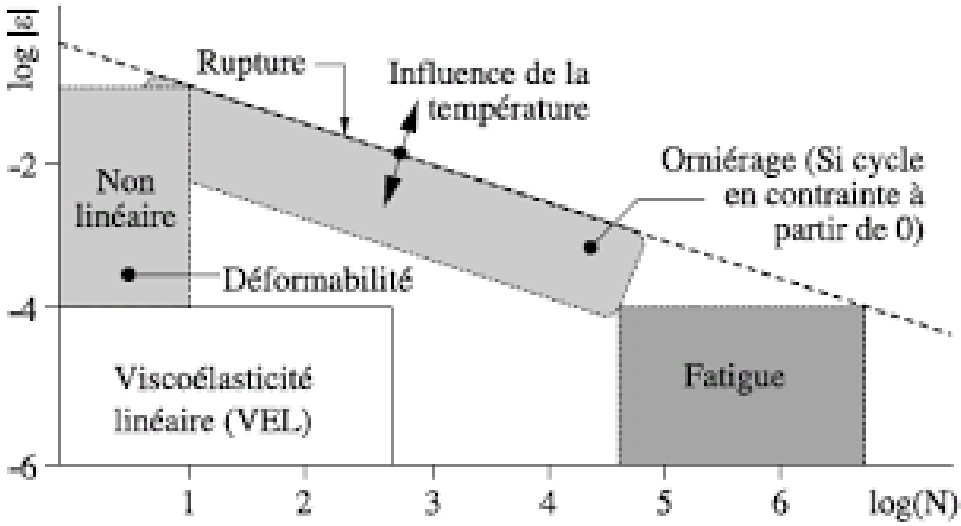


Figure I.14 : Schématisation des sollicitations induites par la température.

I.7. Formulation de l’enrobé

Le critère de maniabilité permet d’exercer une discrimination entre des mélanges trop maniables, qui auront tendance à présenter des ornières, et des mélanges peu maniables, qui seront perméables et peu durables.

Afin de formulé un enrobé bitumineux performant, des critères sont à prendre en compte :

S’assurer que le mélange est suffisamment imperméable pour être durable, sans toutefois être trop maniable et être ainsi sujet à l’orniérage. Ce critère correspond à l’état du revêtement après le compactage effectué à l’étape de la construction. C’est dans cet état que les propriétés du mélange sont évaluées (densité brute, densité maximale, pourcentage de vides entre les granulats).

I.7.1. Les méthodes de formulation des enrobés bitumineux

Du point de vue du cadre général, il existe plusieurs types de méthode de formulation qui sont fonction de l’histoire, du contexte technique et de la méthodologie de dimensionnement. Dans ce contexte, il n’en sera cité que les deux plus utilisées fonction de la technique et de la méthode de dimensionnement disposées. Ces deux méthodes sont:

I.7.1.1. Méthode Marshall

Cette méthode à été développée dans les années 30 par Bruce Marshall. Elle vise à choisir la teneur en liant pour une certaine densité du mélange qui satisfait à une stabilité minimale et un fluage évoluant dans un intervalle d'acceptation. La procédure de formulation se déroule comme suit :

a) **Choix des agrégats :** Les matériaux doivent satisfaire les propriétés physico-chimiques fixées dans celui-ci. Aussi la combinaison des différentes tailles d'agrégats doit permettre d'obtenir une courbe granulométrique aussi proche que possible de la courbe de référence.
b) **Choix du liant :** A ce niveau, il n'existe pas une procédure de sélection et d'évaluation normalisée. Son choix est alors laissé à l'ingénieur qui devra réaliser les essais qu'il juge nécessaire pour le guider.
c) **La préparation des échantillons :** Les échantillons sont fabriqués dans des moules normalisées. Typiquement on prépare 03 ou 05 mélanges avec des teneurs en liant différentes, et pour chaque mélange, 03 échantillons. Les échantillons sont ensuite compactés à l'aide de la dame Marshall selon des règles bien précises.
d) **Détermination de la stabilité et du fluage :** Une fois compactés les échantillons sont soumis à un essai de stabilité et fluage. La stabilité est la force maximale que peut supporter l'échantillon et le fluage est la déformation plastique qui s'ensuit. Ces deux valeurs sont en quelque sorte des mesures permettant de prévoir la performance de l'enrobé.
e) **Calcul de la densité et des vides :** Cette étape sert à déterminer les caractéristiques du mélange que sont les densités et les vides.
f) **Choix de la teneur en liant optimale :** Il est fait a ce niveau, une représentation de l'évolution du pourcentage de vides, de la densité, du fluage, de la stabilité, des vides du squelette minéral et des vides remplis par le bitume en fonction de la teneur en liant. La teneur idéale en liant est obtenue en faisant la moyenne des teneurs en bitume qui ont donné la stabilité maximale, la masse volumique maximale et la teneur en vides désirée. Tout cela se fait graphiquement à l'aide des courbes issues des essais réalisés sur les échantillons.

I.7.1.2. La méthode française

Cette méthode s'effectue en deux étapes que sont :

1) **Détermination de la quantité minimale de liant :** La quantité de liant se détermine en fonction de la granulométrie du mélange. En effet en se basant sur l'approche codifiée en France qui veut que pour toute composition granulométrique, on puisse définir une quantité minimale de liant nécessaire pour assurer sa durabilité, une formule a pu être établie en fonction du module de richesse des grains.
2) **Essai à la presse à cisaillement giratoire :** Cet essai vise à estimer le comportement lors du compactage du mélange précédemment déterminé. Pour se faire, une quantité prédéterminée du mélange hydrocarbonée, portée à la température usuelle de fabrication en centrale est placée dans un moule cylindrique de 150 mm de diamètre. Le compactage s'obtient par l'action simultanée d'une (Force de compression statique assez faible de 0.6 MPa, d'une déformation de l'éprouvette à laquelle on n'impose que son axe longitudinal décrive une surface conique de révolution).

L'interprétation de l'essai est faite en considérant les valeurs de pourcentages de vides obtenues après 10 girations et après un nombre (Ng) girations dépendant de l'enrobé. Après les (Ng) girations, il est spécifié une fourchette de valeur fonction des besoins en performance de l'enrobé considéré.

I.8. Niveau de formulation des enrobés bitumineux

Il existe plusieurs niveaux d'application des méthodes de formulation en fonction de la nature des études. Ainsi, en fonction qu'on ait à faire une vérification de formule déjà appliquée, à adapter une formule à un cas de changement d'au moins un des constituants ou dans le cas d'une formule nouvelle, on aura quatre (04) niveaux ou « stratégies » de formulation détaillé comme suit (Figure. I.15) :

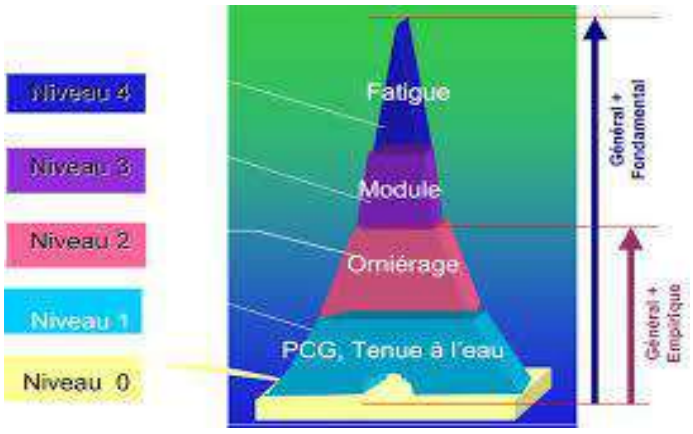


Figure I.15 : Les cinq niveaux de formulations des bétons bitumineux.

Il est à noter qu'au-delà des niveaux de formulation, il existe en fonction des performances atteintes aux essais, trois (03) classes de produits pour les enrobés.

I.9. Essais de performance sur les enrobés bitumineux

I.9.1. Essai Marshall (NF EN 12697-34) [21]

L'essai s'applique aux mélanges hydrocarbonés à chaud fabriqués en laboratoire ou prélevés sur le chantier (grave bitume, béton bitumineux, et autres mélanges hydrocarbonés à chaud). La température de compactage correspond à celle nécessaire au malaxage pour assurer une viscosité de 170 mm²/s et permettre en chantier le maximum de compactibilité. Les éprouvettes ainsi préparées servent à déterminer d'abord la densité brute de l'enrobé, puis sa stabilité, c'est-à-dire sa résistance à la déformation, et enfin cette déformation même.

L'essai de stabilité Marshall est un essai de compression diamétrale. Cette compression est appliquée sur l'éprouvette après ½ heure d'immersion dans un bain d'eau à 60°C, et à la vitesse de 0,85 mm/s ± 0,1mm/s.

Cet essai détermine deux propriétés physiques du béton bitumineux :

1- **La stabilité :** résistance maximale à la déformation d'une éprouvette moulée d'enrobé.
2- **Le fluage :** déformation a la rupture. Ici nous appliquons la charge sur la surface latérale de l'éprouvette en utilisant le moule d'écrasement Marshall.

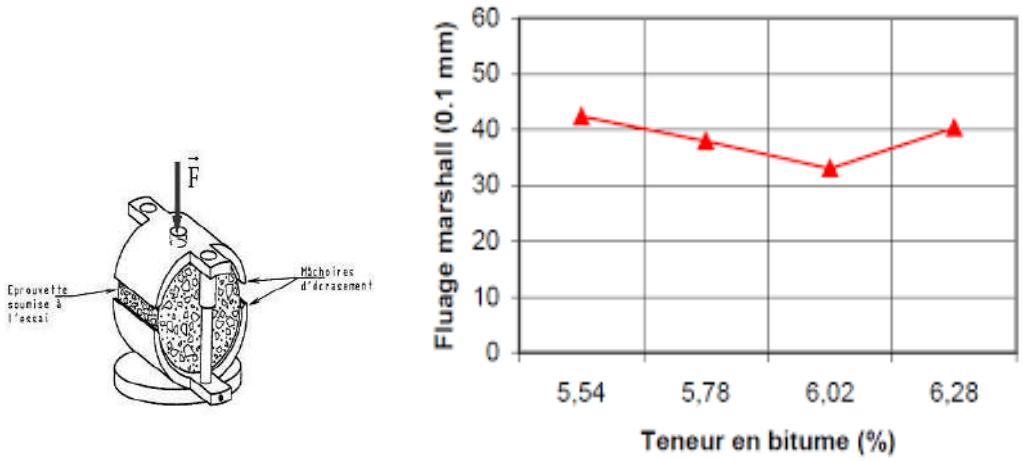


Figure I. 16 : Essai Marshall

La compactibilité est jugée satisfaisante lorsque la compacité à 50 coups est comprise entre 93 et 97 % pour le BBSG (Béton Bitumineux Semi Grenus) .

I.9.2. Essai Duriez ou essai de compression simple (EN 12697-12) [22]

L'essai Duriez ne permet pas d'avoir une propriété intrinsèque du matériau mais juste un moyen d'appréciation de façon indirecte de la tenue à l'eau. Pour cet essai, l'énergie de compactage utilisée pour la confection des éprouvettes est obtenue par une compression double effet de l'enrobé à l'intérieur d'un moule cylindrique. Les éprouvettes ainsi confectionnées sont conservées : (Les unes à 18° C pendant 07 jours à l'air libre, les autres à 18° C pendant 07 jours dans l'eau). Au bout de ce délai, les éprouvettes sont écrasées à une vitesse constante en

compression simple et l'on obtient : (La résistance des éprouvettes conservées à l'air : R, la résistance des éprouvettes conservées dans l'eau : r). Le rapport r/R appelé rapport d'immersion/compression traduit en quelque sorte la tenue à l'eau de l'enrobé.

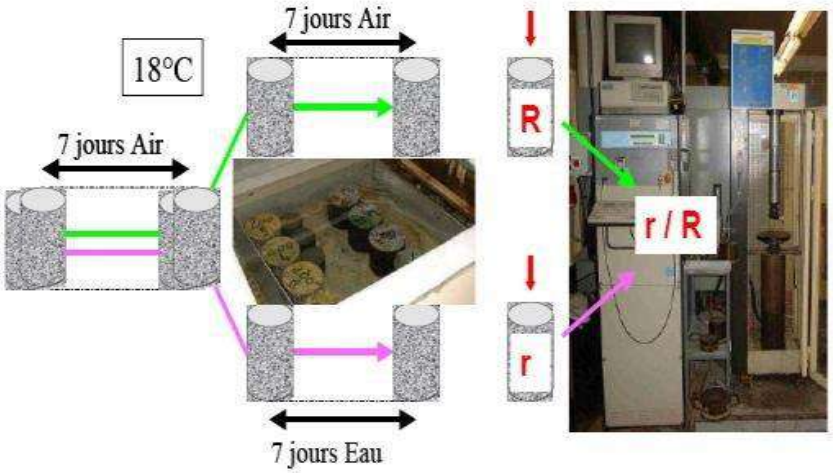


Figure. I.17 : Le principe de l'essai Duriez.

I.9.3. Essai de cisaillement à la presse de giration « PCG » (NF EN 1269-91) [23]

Cet essai a pour objectif de déterminer l'évolution du pourcentage des vides d'un enrobé bitumineux soumis à un compactage isotherme, obtenu par combinaison d'un cisaillement giratoire et d'une force axiale. L'essai consiste à faire subir à une éprouvette d'enrobé n girations avec une inclinaison d'un angle au sommet de 2a =2° et en appliquant une force de 12 KN avec des vitesses de rotation de 6 à 32 tr/ min. La hauteur de l'éprouvette est mesurée au cours de l'essai à certains nombre de girations.

Le principe de cet essai est de mesurer la hauteur de l'éprouvette pour en déduire l'évolution de l'indice de vide en fonction de nombre de girations.

Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'un graphique avec en ordonnée le pourcentage des vides et en abscisse le nombre de girations. La compacité absolue pouvant être atteinte sur le chantier avec un atelier normal de compactage pour une épaisseur e (en cm) est celle obtenue à la PCG pour un nombre de giration n = 10 e.

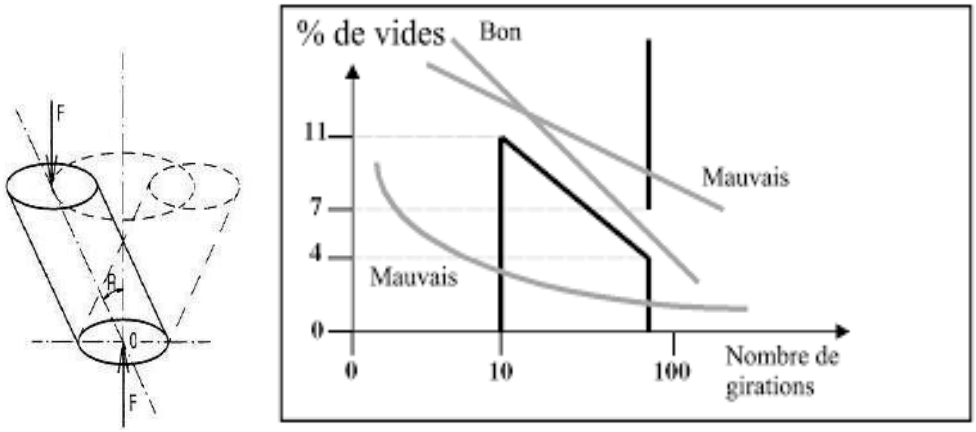


Figure I. 18 : Principe du compactage a la presse à cisaillement giratoire PCG

La compactibilité à la PCG d'une formule de béton bitumineux est jugée satisfaisante lorsque :

- La compacité à 10 girations est inférieure à 89 %
- La compacité à 60 girations est comprise entre 92 et 96 %

De plus, parmi les formules testées, on retiendra celle présentant l'évolution la plus rapide de la compacité : droite de plus forte pente.

I.9.4.Essai d'orniérage (EN 12697-22) [24]

L'essai à l'ornière sert à l'étude des enrobés pour chaussées à trafic intense et très élevé. Il permet d'apprécier la résistance à l'orniérage des couches de roulement et des couches de base destinées notamment aux types de trafic précités, et cela dans des conditions de nature comparable à celle rencontrées sur les chaussées. L'essai est caractérisé par la détermination de la profondeur d'ornière provoquée par le passage répété d'un pneumatique sur une plaque d'enrobé à 60° C pour les couche de surface et à 50° C pour les couches de base.



Figure I.19 : Appareillage de l'essai d'orniérage.

I.9.5. Essai de module complexe (EN 121697 – 26) [25]

Cet essai caractérise le comportement viscoélastique des enrobés en fonction de la fréquence et de la température. L'essai de module est effectuer sur une éprouvette d'enrobé de forme trapézoïdale encastré à sa base et sur l'extrémité libre, on impose un déplacement sinusoïdale très faible d'amplitude constante créant une mise en flexion du corps d'épreuve en simulant l'effet du trafic. A partir de la force résultante, on calcul le module dans une gamme de température allant de -10 à 40° C, et pour chaque température, quatre niveaux de fréquence qui sont : 1, 3, 10 et 30 Hz.

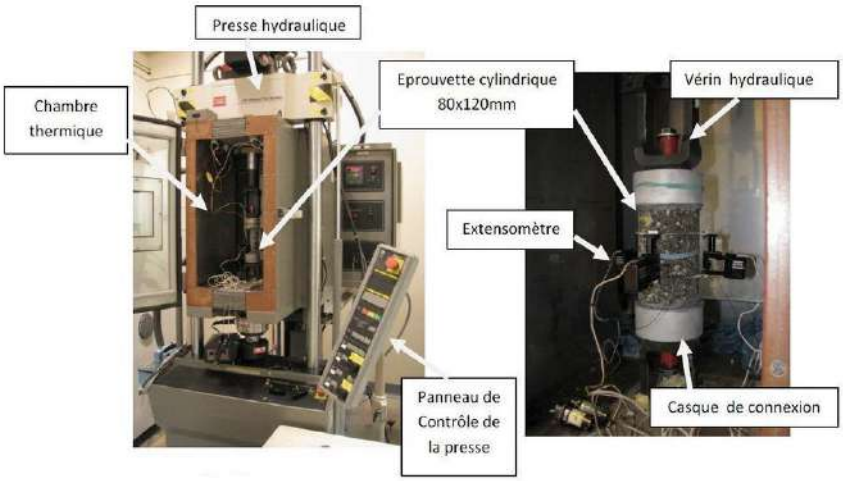


Figure I.20 : l'appareil de module complexe .

I.9.6. Essai de fatigue (NF EN 12697-24 Mars 2005) [26]

Cet essai consiste à solliciter en flexion au travers de son bord libre une éprouvette trapézoïdale d'enrobé encastré à sa base. Cette sollicitation se fait en déplacement imposé. C'est-à-dire qu'on impose un déplacement sinusoïdal d'amplitude constante à l'extrémité de l'éprouvette et on admet que la rupture est atteinte lorsque l'effort nécessaire pour obtenir la déformation est égal à la moitié de l'effort initial.

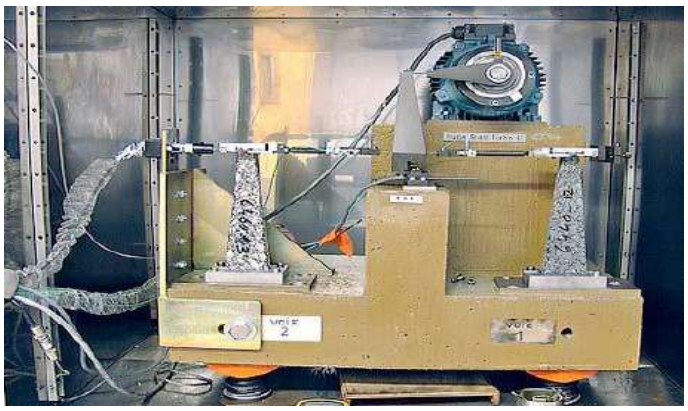


Figure I.21: Appareillage de l'essai de fatigue.

I.10. Conclusion

L'enrobé bitumineux dans la chaussée, soumis à des différents sollicitations, tels que thermiques et mécaniques. Ces sollicitations sont variables en fonction du temps. Le comportement de l'enrobé bitumineux en sein de la chaussée très complexe, il dépend à la fois de la température (thermoplastique), du temps (visqueux) et d'autres paramètres. Ces différents aspects de comportement lui sont conférés par le liant bitumineux.

Chapitre II :

Présentation des matériaux d'étude

Chapitre II : Présentation des matériaux d'étude

Dans ce chapitre nous allons définies les matériaux utilisés dans cette étude (granulats, bitume), et de déterminer leurs caractéristiques physico-mécaniques pour formuler les bétons bitumineux étudié.

II.1 Les granulats

Les granulats représentent près de 95 % d'un enrobé bitumineux. Il est donc important de bien les caractériser afin de faire un choix optimal lors de la formulation et de la fabrication d'un enrobe performant. Les granulats utilisés dans le cadre de la présente étude sont les fractions couramment utilisées en Algérie pour la fabrication des bétons bitumineux destinés aux couches de roulement, à savoir :

- Gravier de classe 3/8 de la carrière EGUVA (REGHAIA) ;
- Gravier de classe 8/15 de la carrière EGUVA (REGHAIA);
- Trois type du sable de classe 0/3, il s'agite de sable artificielle (EPTP REGHAIA) ; sable de dune (HASSI BAHBAH) et sable d'oued (Médéa).

Pour déterminer les caractéristiques de fabrication des granulats, les essais suivants ont été réalisés :

- L'analyse granulométrique **(NF P 18-560)** ;
- L'équivalent de sable **(NF P 18-597)** ;
- La masse volumique absolue **(NF P 18-554)** ;
- La résistance aux chocs : essais LOS ANGELES **(NF P 18-573)** ;
- La résistance à l'usure en présence d'eau : essai MICRO-DEVAL **(NF P 18-572)** ;
- Essai chimique.

II.1.1. Analyse granulométriques (NF P 18-560)

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamisons matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les masses des différents refus et tamis sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.



Figure II.1: Equipement d'essai d'analyse granulométriques.

Les résultats d'analyses et essais effectués au laboratoire sont donnés dans les figures suivantes :

a) Le granulat 3/8

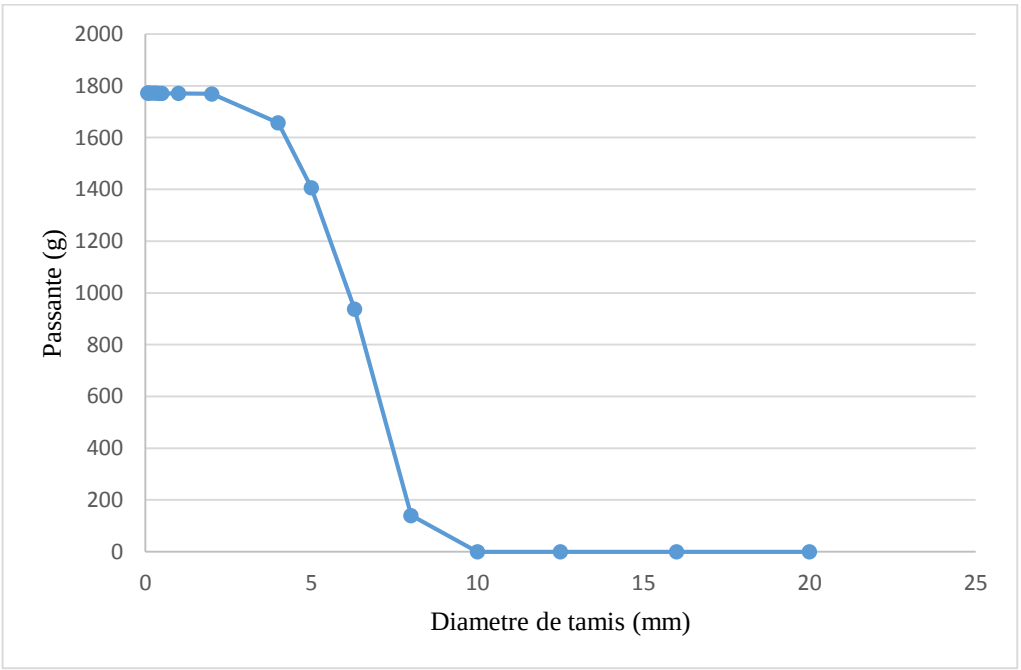


Figure II. 2 : Courbe granulométriques du granulat 3/8

b) Le granulat 8/15

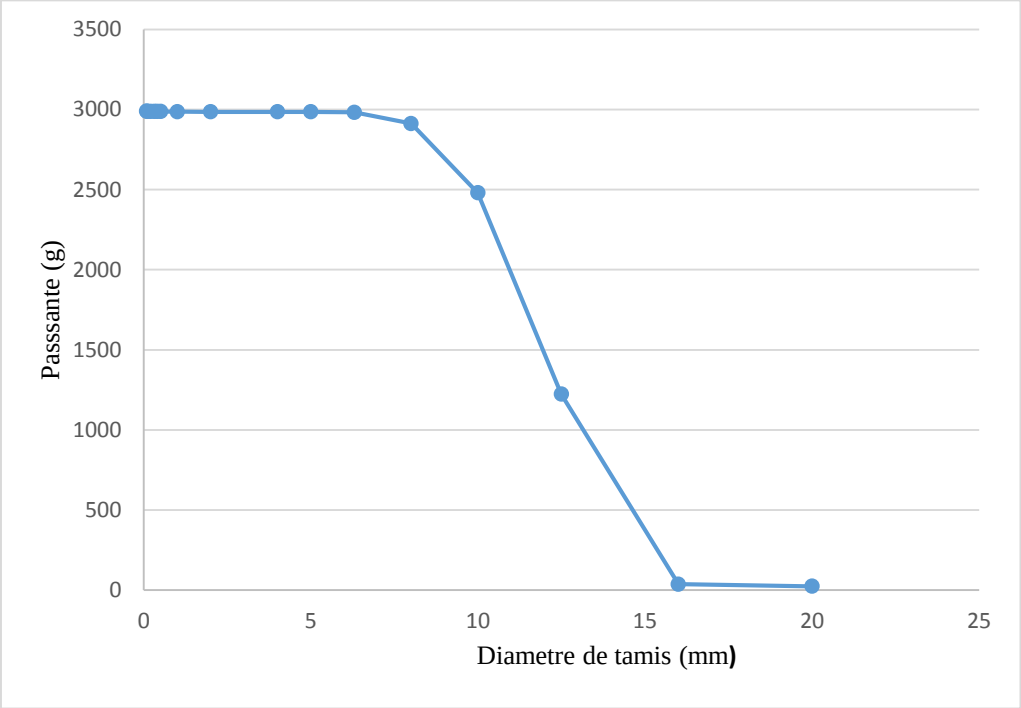


Figure II. 3 : Courbe granulométriques du granulat 8/15

c) Le sable 0/3 de carrière

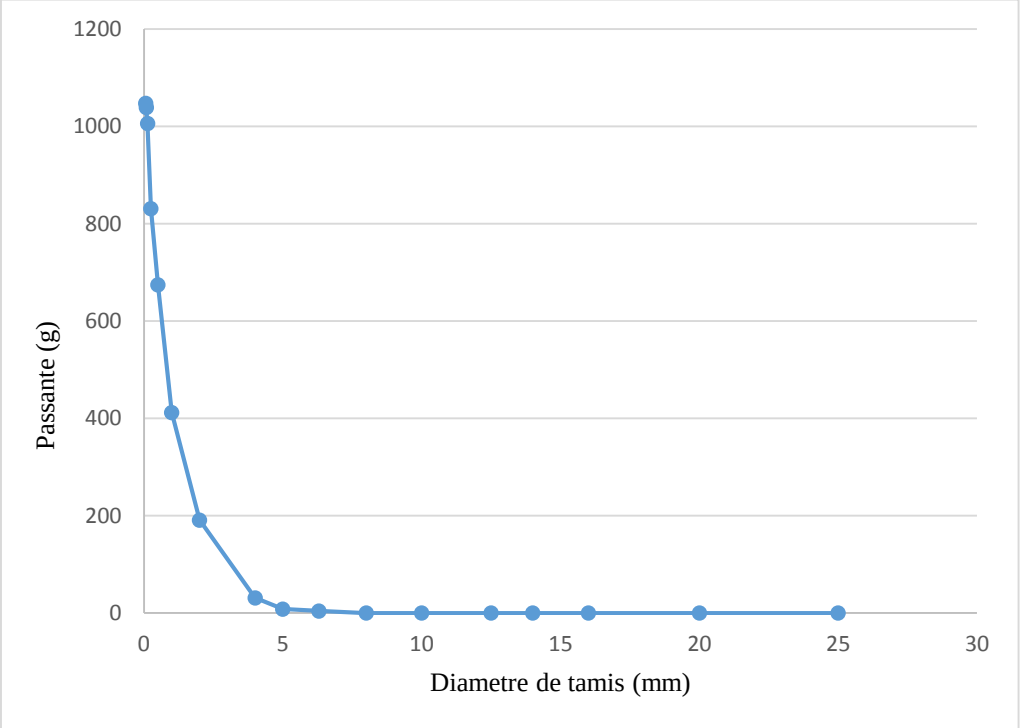


Figure II. 4 : Courbe granulométriques de sable de carrière.

d) Le sable 0/3 de dune

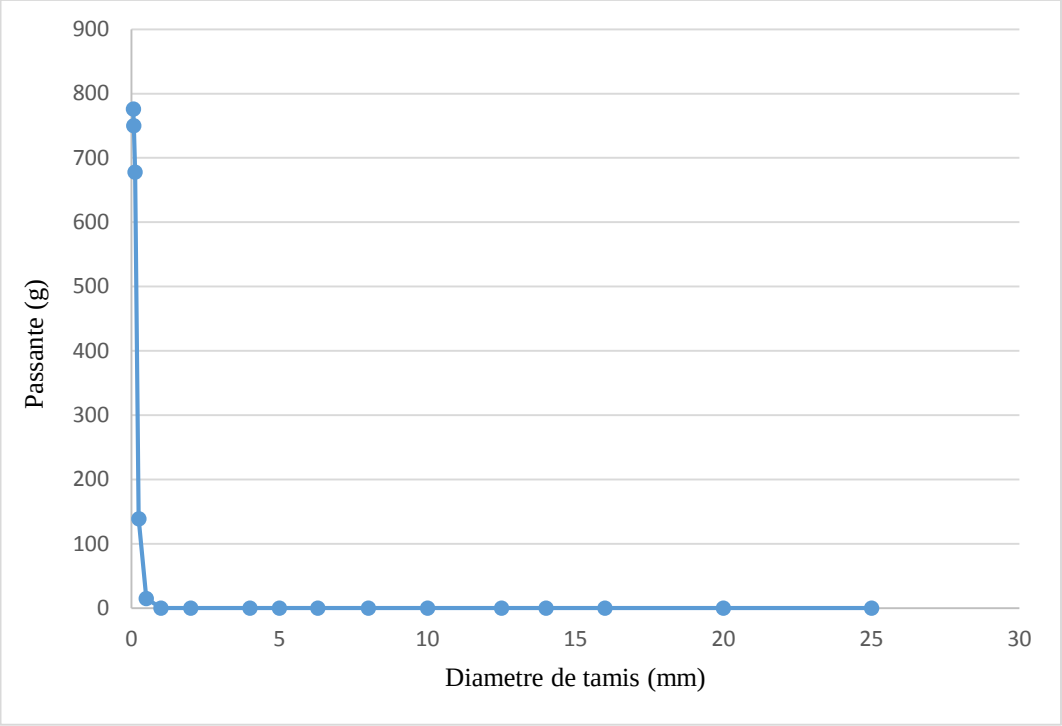


Figure II. 5 : Courbe granulométriques de sable de dune.

e) Le sable 0/3 d'oued

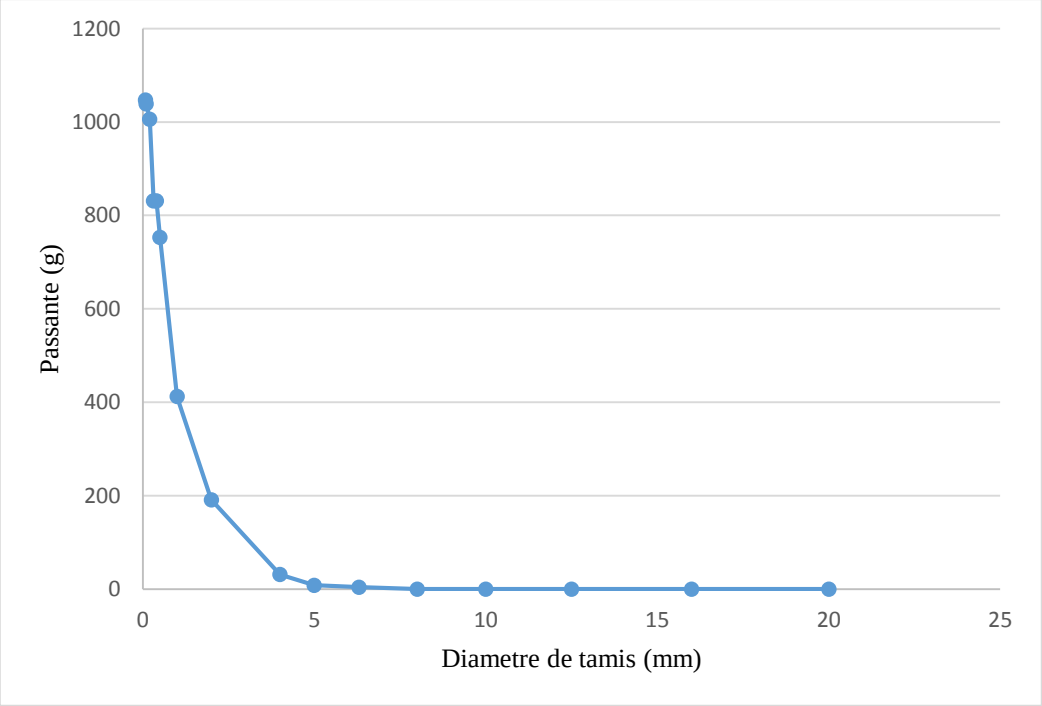


Figure II. 6 : Courbe granulométriques de sable d'oued.

II.1.2. Essai d'équivalent de sable à 10% des fines (NF P 18-597)

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par un essai appelé "équivalent de sable piston (Esp)" qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage. L'essai est fait uniquement sur la fraction de sable 0/2. Le lavage à l'eau ne donnerait pas des résultats précis et fidèles lors de l'essai. On utilise une solution spéciale qui permet la floculation des éléments fins et en régularise la sédimentation ; et on laisse reposer le tout au bout de 20 minutes on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h1 : sable propre + éléments fine (floculant).
- Hauteur h2 : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable **ES = 100. H2 / H1.**



Figure II.7 : Essai d'équivalent de sable à 10% des fines.

Les résultats d'équivalant de sable pour les trois types de sable sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Résultats d'équivalant de sable

Type de sable	Résultat d'équivalant de sable (ES)
Sable de carrière	68
Sable de dune	55
Sable d'oued	69

A partir des résultats obtenus, les trois sables sont propres et utilisable en fabrication de l'enrobé bitumineux **(> 50 %)**.

II.1.3. Essai Los-Angeles (NF P 18-573)

L'essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le matériau à une série de chocs et de frottements dans la machine Los Angeles. A un coefficient Los Angeles faible correspond un excellent matériau. Dans la machine Los Angeles, introduire avec précaution la prise d'essai M =5000 g et la charge de boulets de la classe granulaire choisie.



Figure II.8 : Essai Los-Angeles.

L'essai est effectués sur la classe de référence 4 / 6,3 et 10 / 14, les valeurs sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Résultats de l'essai Los Angeles 3/8 et 8/15

Classe granulaire	LA (%)
4 / 6,3	19,87
10 / 14	23,25

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les granulas 3/8 et 8/15 présentés des bonne résultats concernant la résistance à la fragmentation par choc **(> 15 %)**.

II.1.4. Essai Micro-Deval (NF P 18-572)

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats (l'attrition) et une charge abrasive. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient micro-Deval est élevé, le matériau est meilleur.



Figure II.9 : Essai Micro-Deval

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau II.3 : Résultats de l'essai Micro-Deval 3/8 et 8/15

Classe granulaire	MDE (%)
4 / 6,3	23,2
10 / 14	16,5

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les granulas 3/8 et 8/15 présentés des bonne résultats concernant la résistance à l'usure **(> 15 %).**

II.1.5. Masse volumique absolue des agrégats (NF P 18-554)

La masse volumique absolue est la masse de l'unité de volume absolu du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides (y compris ceux formant la porosité fermé).

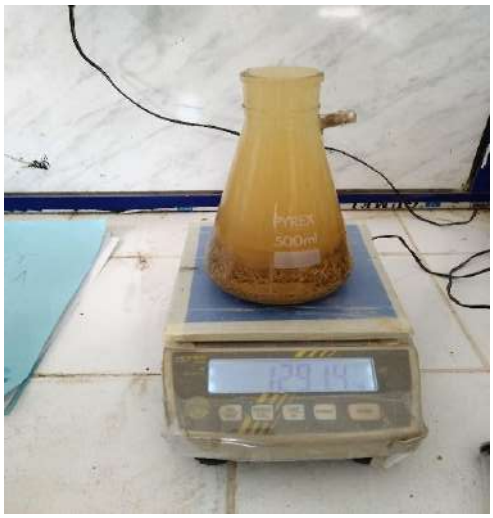


Figure II.10 : Essai masse volumique absolue.

Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II.4 : Masse volumique des sables et des granulats

Classe granulaire	Masse volumique (Kg/m³)
0/3 sable de carrière	2,66
0/3 sable de dune	2.63
0/3 sable d'oued	2,68
3/8	2,72
8/15	2,69

II.2. Le bitume

Le bitume utilisé dans cette étude est de classe 40/50, provient de l'unité de l'entreprise NAFTAL (Alger). Pour caractériser un bitume plusieurs essais sont utilisés. Il s'agit des essais de pénétrabilité à l'aiguille à 25°C et d'essai de point de ramollissement ou comme s'appelle la température bille et anneau et densité relative à 25°. Les résultats des essais d'analyse et de caractérisation qui ont été effectué sur le bitume pur, sont représentés dans les tableaux suivants :

II.2.1. Essai de densité relative A 25° C (NF T 66 – 007)

Quoique la densité relative ne soit pas normalement spécifiée, il est préférable de la connaître pour le bitume utilisé. Cette information est nécessaire pour faire les corrections de volumes à des températures élevées. Elle est aussi utilisée dans la détermination des vides dans les mélanges bitumineux compactés. 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.



Figure II.11 : Densité relative de bitume pure.

Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Tableau 0 5Tableau II.5 : Densité relative de bitume

Essai de densité	Bitume de classe (40/50)
Valeur	1.02
Spécification (g/cm³)	1 à 1.1

II.2.2. Essai de pénétrabilité a l'aiguille (NF EN 1426)

La pénétrabilité d'un liant bitumineux est la consistance (la propriété de ses diverses particules d'adhérer entre elle) exprimée comme la profondeur, en dixièmes de millimètres, correspondant à la pénétration d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai matériau, dans des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge. L'essai consiste à mesurer l'enfoncement d'une aiguille standard dans l'échantillon d'essai conditionné. Les conditions opératoires s'appliquant aux pénétrations :

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

Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II.6 : Pénétrabilité de bitume

Essai de pénétrabilité	Bitume de classe (40/50)
Valeur	42,7
Spécification	40 à 50

II.2.3. Essai de point de ramollissement (NF EN 1427)

La température de ramollissement est celle à laquelle le matériau dans les conditions de référence de l'essai atteint une certaine consistance, c'est la température maximale à laquelle disparait la cohésion du bitume. Deux disques horizontaux de bitume, moulés dans des anneaux de laiton à épaulement, sont chauffés dans un bain liquide avec un taux d'élévation de la température contrôlé (5° C par minute), alors que chacun soutient une bille d'acier .la température de ramollissement notée doit correspondre à la moyenne des températures auxquelles les deux disques se ramollissent suffisamment pour permettre à chaque bille, enveloppée de bitume, de descendre d'une hauteur de 25mm±0.4mm.

Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II.7 : Point de ramollissement de bitume

Essai de point de ramollissement	Bitume de classe (40/50)
Valeur	52,2
Spécification	47 à 60

II.2.4. Conclusion sur le bitume

L'analyse des granulats utilisés pour la fabrication des enrobés bitumineux a conduit aux caractéristiques suivantes :

- L'analyse granulométrique sur les trois fractions présente des granularités continues.
- Sable d'oued grossier et propre de nature siliceux.
- Sable de dune fin et propre de nature siliceux.
- Sable de carrière propre de nature calcaire.
- Les deux fractions de gravier 3/8 et 8/15 ont des caractéristiques mécaniques moyennes à bonnes, donc les différents essais effectués (LA, MDE.) sur les granulats montrent que les matériaux choisis présentent, de bonnes caractéristiques en qualités intrinsèques.
- Poids spécifique satisfaisants pour toutes les fractions utilisées.

Les granulats ont donc de bonnes caractéristiques pour être utilisés dans la fabrication des enrobés bitumineux.

L'ensemble des résultats de bitume étudié sont concorde avec les spécifications recommandées pour la classe 40/50 en vigueur en Algérie.

Chapitre III :
Etude de formulation de l’enrobé bitumineux

Chapitre III : Etude de formulation de l'enrobé bitumineux

III.1. Etude de formulation de l'enrobé bitumineux

L'étude de formulation des enrobés bitumineux consiste à chercher la teneur en liant pour assurer un certain seuil de stabilité, de compacité, de résistance à l'eau (dés-enrobages) et au fluage.

III.1. 1. Etude de formulation de l'enrobé bitumineux contenant de sable 0/3 de carrière

III.1.1.1 Composition mélange

À partir des courbes moyennes des classes granulaires, on calculera la courbe du mélange, le pourcentage de passants à un tamis pour la courbe de mélange est la somme des pourcentages de passants au même tamis des courbes des constituants pondérés par les proportions correspondantes, la figure III.1 présente la composition granulaire proposés dans ce projet d'étude. Les pourcentages obtenus sont déterminés d'après la courbe granulométrique de chaque agrégat en tenant compte du fuseau de référence 0/14, la courbe de mélange est présentée ce dessous :

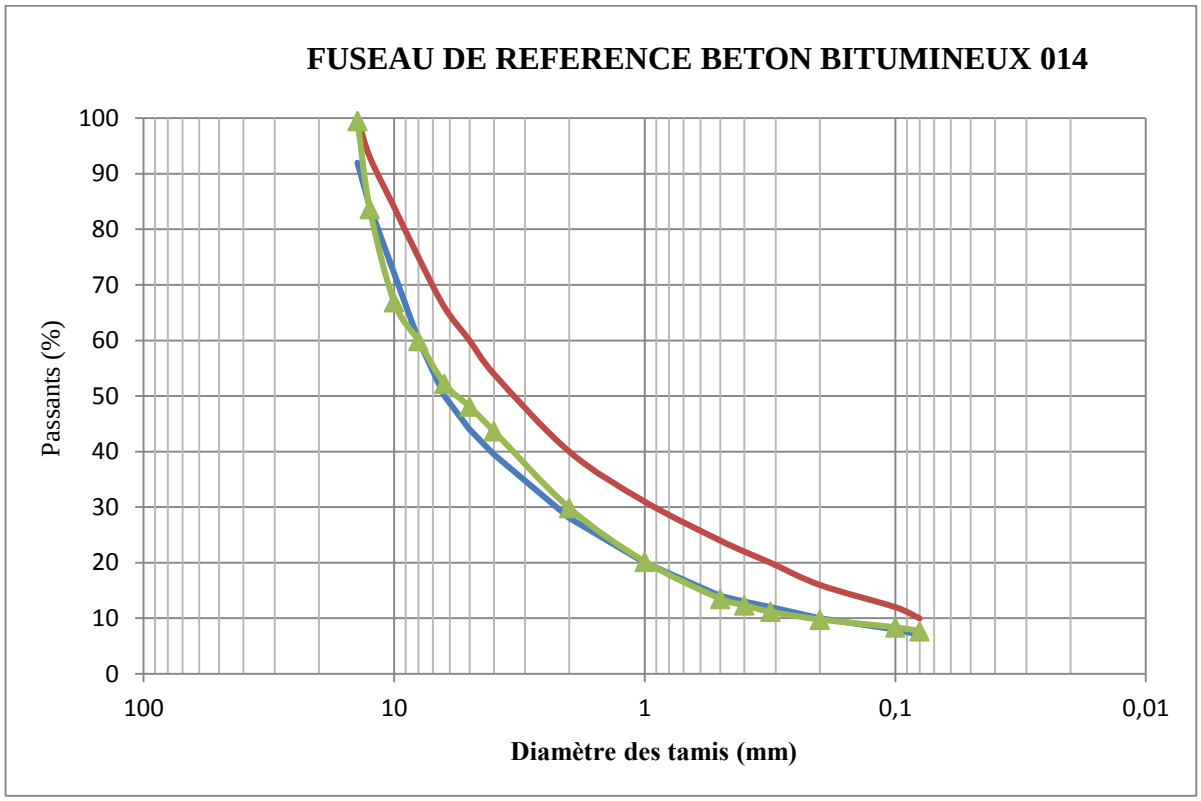


Figure III.1 : Courbe de mélange granulaire de référence BB 014 (Sable de carrière).

On remarque que la majorité de la courbe granulométrique s'insère dans le fuseau de référence préconisé en Algérie pour les bétons bitumineux semi - grenus 0/14. Et la proportion obtenue représente dans le tableau III.1:

Tableau III. 1 : Pourcentages pondéraux des différentes classes

Fraction	Pourcentages pondéraux (%)
0/3	45
3/8	15
8/15	40

III.1.1.2. Détermination de la Teneur en liant

La teneur en liant pour un béton bitumineux semi-grenu 0/14 est déterminée en pourcentage du poids des agrégats par la méthode basée sur le module de richesse et la surface spécifique **norme (NF P98-130)**.Pour déterminer la teneur en liant, nous introduisons la notion de surface spécifique des granulats notée Σ et exprimée en m2/kg, c'est-à-dire la surface développée qu'auraient les granulats assimilés à des sphères. Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique Σ :

$$\sum = \frac{0.25G + 2.3S + 12S + 150f}{100}$$

Avec :

- G : des éléments supérieurs à 6.3 mm
- S : des éléments compris entre 6.3 et 0.25 mm
- s : des éléments compris entre 0.25 et 0.063 mm
- f : des éléments inférieurs à 0.063 mm

La teneur en liant, fonction de la surface spécifique des granulats, est donnée par la formule expérimentale suivante :

$$\%\boldsymbol{liant} = \boldsymbol{\alpha} k \sqrt[5]{\boldsymbol{\Sigma}}$$

Avec :

- % Liant : teneur en liant (%)
- α : coefficient destiné à tenir compte de la masse volumique réelle des granulats « MVRg ». Si celle-ci diffère de 2.65 t/m3, nous utilisons la formule suivante :

$$\alpha = 2{,}65 / MVRg$$

Avec:

$$MVRg = \frac{32+25+43}{\frac{32}{2.68}+\frac{25}{2.67}+\frac{43}{2.66}} = 2.681 \text{ donc : } \alpha = 2{,}65 / 2.681 = 0.98.$$

❖ Calcul la Surface Spécifique des Agrégats Σ :

Σ : surface spécifique des granulats (m2/kg),

100 Σ = 0.25**G** + 2.3**S** + 12**s** + 135**f** = 0.25 (44.24%) + 2.3 (47.02%) + 12(2.11%) + 135 (6.63%)

100 Σ = 1089.391 **m²/kg ;** Σ = 11.827 **m²/kg ;** $\sqrt[5]{\Sigma}$= 01.639

- k : module de richesse, devant avoir une valeur supérieure ou égale à celle donnée dans le tableau suivant :

La détermination de la teneur en liant est en fonction du module de richesse, suivant le tableau ci-dessous qui est donnée par la courbe du mélange III.2 :

Tableau III. 2 : Modules de richesses et teneures en liant correspondantes

Module de Richesse (k)	3.45	3.60	3.75	3.90
% Liant	5,59	5,83	6,08	6,32

On a réalisé des enrobés bitumineux (bitume pur + granulats) qui correspondent aux modules de richesse différents (3,45 / 3,60 / 3,75/ 3,90) et on les a soumis à l'essai à la presse à cisaillement giratoire(PCG).

D'après les résultats des essais de la PCG et d'après les spécifications des enrobes bitumineux semi grenus qui recommandent un indice des vides minimums 11% à 10 girations, on a conclu que la teneur en liant est de 5,59 % car le mélange bitumineux réalisé par cette teneur a donné un indice des vides de 15,97 % à 10 girations (11% < 15,97% à 10 girations) ce qui est conforme à la norme de BBSG. Pour le module de richesse (k = 3,45), la teneur en liant = 5,59 %.

Conformément à la spécification, l'étude de formulation des bétons bitumineux a donné les résultats suivant le tableau III.3, pour les matériaux utilisés (bitume 40/50, sable et granulat de nature calcaire):

Tableau III. 3 : Composition de la formule utilisée

Fraction granulaire	**0/3**	**3/8**	**8/15**
% du mélange	45	15	40
Teneur en liant (%)	5,59		

III.1. 2. Etude de formulation de l'enrobé bitumineux contenant de sable 0/3 de dune

III.1.2.1 Composition mélange

La figure III.2 présente les compositions granulaires proposées dans ce projet d'étude. Les pourcentages obtenus sont déterminés d'après la courbe granulométrique de chaque agrégat en tenant compte du fuseau de référence 0/14, la courbe de mélange est présentée ce dessous :

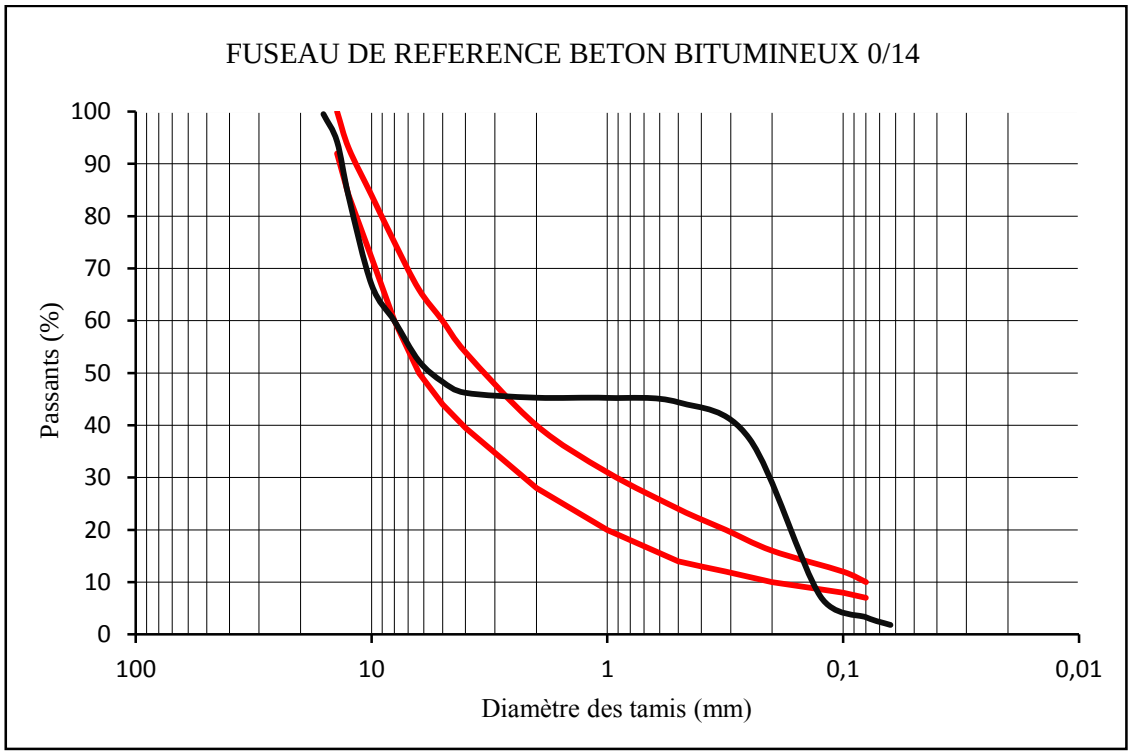


Figure III.2 : Courbe de mélange granulaire de référence BB 0/14 (Sable de dune).

On remarque que la majorité de la courbe granulométrique a l'extérieure de fuseau de référence préconisé en Algérie pour les bétons bitumineux semi - grenus 0/14. Et la proportion obtenue représente dans le tableau III.4:

Tableau III. 4 : Pourcentages pondéraux des différentes classes

Fraction	Pourcentages pondéraux (%)
0/3	45
3/8	25
8/15	30

III.1.2.2. Détermination de la Teneur en liant

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique Σ :

$$\sum = \frac{0.25G + 2.3S + 12S + 150f}{100}$$

Avec :

- G : des éléments supérieurs à 6.3 mm
- S : des éléments compris entre 6.3 et 0.25 mm
- s : des éléments compris entre 0.25 et 0.063 mm
- f : des éléments inférieurs à 0.063 mm.

La teneur en liant, fonction de la surface spécifique des granulats, est donnée par la formule expérimentale suivante :

$$\%\boldsymbol{liant} = \boldsymbol{\alpha k} \sqrt[5]{\boldsymbol{\Sigma}}$$

Avec :

- % Liant : teneur en liant (%)
- α : coefficient destiné à tenir compte de la masse volumique réelle des granulats « MVRg ». Si celle-ci diffère de 2.65 t/m3, nous utilisons la formule suivante :

$$\alpha = 2{,}65 / MVRg = 0{,}98$$

❖ Calcul la Surface Spécifique des Agrégats Σ :

Σ : surface spécifique des granulats (m2/kg),

$$\Sigma = 7{,}249 \ \mathbf{m^2/kg} \ ; \ \sqrt[5]{\Sigma} = 1{,}49$$

- K : module de richesse, devant avoir une valeur supérieure ou égale à celle donnée dans le tableau suivant :

La détermination de la teneur en liant est en fonction du module de richesse, suivant le tableau ci dessous qui est donnée par la courbe du mélange :

Tableau III. 5 : Modules de richesses et teneures en liant correspondantes

Module de Richesse (K)	3.45	3.60	3.75	3.90
% Liant	5,06	5,28	5,5	5,72

On a réalisé des enrobés bitumineux (bitume pur + granulats) qui correspondent aux modules de richesse différents (3,45 / 3,60 / 3,75/ 3,90) et on les a soumis a l'essai à la presse à cisaillement giratoire.

D'après les résultats des essais de la PCG et d'après les spécifications des enrobes bitumineux semi grenus qui recommandent un indice des vides minimums 11% à 10 girations, on a conclu que la teneur en liant est de 5,72 % car le mélange bitumineux réalisé par cette teneur a donné un indice des vides de 15,103 % à 10 girations (11% < 15,103 % à 10 girations) ce qui est conforme à la norme de BBSG. Pour le module de richesse (k = 3,75), la teneur en liant = 5,72 %.

Conformément à la spécification, l'étude de formulation des bétons bitumineux a donné les résultats suivant le tableau III.6, pour les matériaux utilisés (bitume 40/50, sable et granulat de nature calcaire):

Tableau III. 6 : Composition de la formule utilisée

Fraction granulaire		**0/3**	**3/8**	**8/15**
% du mélange		45	25	30
Teneur en liant (%)		5,72		

III.1. 3. Etude de formulation de l'enrobé bitumineux contenant de sable 0/3 d'oued

III.1.3.1 Composition mélange

La figure III.3 présente les compositions granulaires proposées dans ce projet d'étude. Les pourcentages obtenus sont déterminés d'après la courbe granulométrique de chaque agrégat en tenant compte du fuseau de référence 0/14, la courbe de mélange est présentée ce dessous :

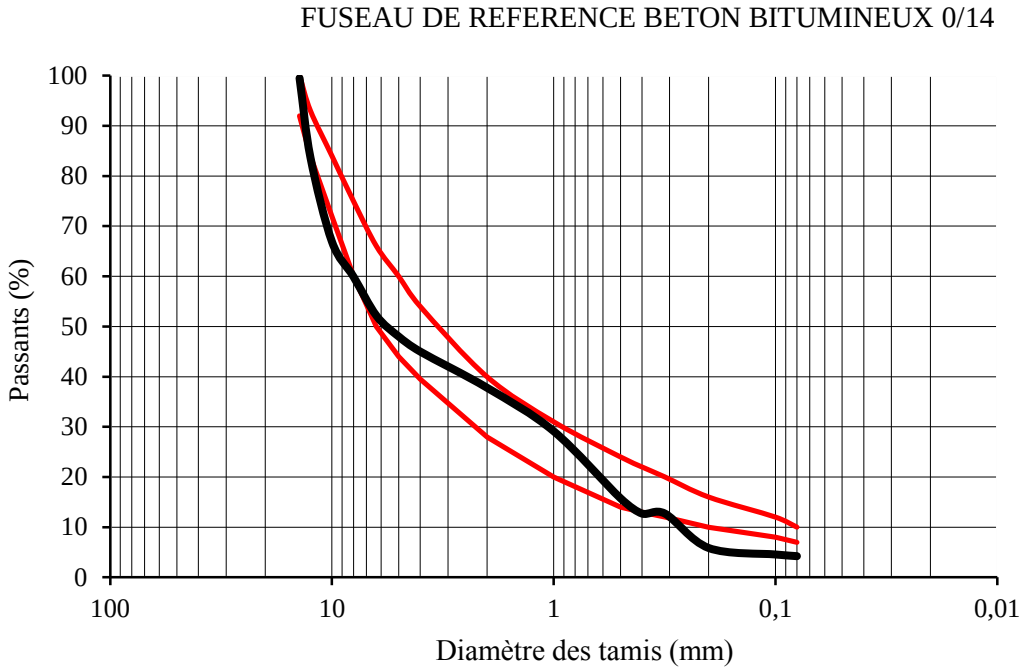


Figure III.3 : Courbe de mélange granulaire de référence BB 0/14 (Sable d'oued).

On remarque que la majorité de la courbe granulométrique a l'intérieure de fuseau de référence préconisé en Algérie pour les bétons bitumineux semi - grenus 0/14. Et la proportion obtenue représente dans le tableau III.7:

Tableau III. 7 : Pourcentages pondéraux des différentes classes

Fraction	Pourcentages pondéraux (%)
0/3	45
3/8	25
8/15	30

III.1.3.2. Détermination de la Teneur en liant

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique Σ :

$$\sum = \frac{0.25G + 2.3S + 12S + 150f}{100}$$

Avec :

- G : des éléments supérieurs à 6.3 mm
- S : des éléments compris entre 6.3 et 0.25 mm

- s : des éléments compris entre 0.25 et 0.063 mm

- f : des éléments inférieurs à 0.063 mm.

La teneur en liant, fonction de la surface spécifique des granulats, est donnée par la formule expérimentale suivante :

$$\%\boldsymbol{liant}=\boldsymbol{\alpha k}\sqrt[5]{\boldsymbol{\Sigma}}$$

Avec :

- % Liant : teneur en liant (%)

- α : coefficient destiné à tenir compte de la masse volumique réelle des granulats « MVRg ». Si celle-ci diffère de 2.65 t/m3, nous utilisons la formule suivante :

$$\alpha = 2{,}65 / \text{MVRg} = 0{,}985$$

❖ Calcul la Surface Spécifique des Agrégats Σ :

Σ : surface spécifique des granulats (m2/kg),

$$\Sigma = 7{,}733\ \mathbf{m^2/kg}\ \ ;\ \sqrt[5]{\Sigma} = 1{,}50$$

- K : module de richesse, devant avoir une valeur supérieure ou égale à celle donnée dans le tableau suivant :

La détermination de la teneur en liant est en fonction du module de richesse, suivant le tableau ci dessous qui est donnée par la courbe du mélange :

Tableau III. 8 : Modules de richesses et teneures en liant correspondantes

Module de Richesse (K)	3.45	3.60	3.75	3.90
% Liant	5,12	5,34	5,56	5,78

On a réalisé des enrobés bitumineux (bitume pur + granulats) qui correspondent aux modules de richesse différents (3,45 / 3,60 / 3,75/ 3,90) et on les a soumis a l'essai à la presse à cisaillement giratoire.

D'après les résultats des essais de la PCG et d'après les spécifications des enrobes bitumineux semi grenus qui recommandent un indice des vides minimums 11% à 10 girations, on a conclu que la teneur en liant est de 5,12 % car le mélange bitumineux réalisé par cette teneur a donné un indice des vides de 15,73 % à 10 girations (11% < 15, 73 % à 10 girations) ce qui est conforme à la norme de BBSG. Pour le module de richesse (k = 3,45), la teneur en liant = 5,12 %.

Conformément à la spécification, l'étude de formulation des bétons bitumineux a donné les

résultats suivant le tableau III.6, pour les matériaux utilisés (bitume 40/50, sable et granulat de nature calcaire):

Tableau III. 9 : Composition de la formule utilisée

Fraction granulaire	**0/3**	**3/8**	**8/15**
% du mélange	45	25	30
Teneur en liant (%)	5,12		

III.4. Conclusion

Concernant l'élude de formulation de l'enrobé bitumineux nous obtenons les teneurs en bitume selon la qualité de sable utilisé comme suite :

- Pour le sable de carrière, la teneur en bitume est de : 5,59
- Pour le sable de dune, la teneur en bitume est de : 5,72 %
- Pour le sable d'oued, la teneur en bitume est de : 5,12 %

A cette effet nous concluons que, la qualité de sable influe sur la formulation de l'enrobé bitumineux. Le sable d'oued est la plus économique pour l'utilisation du bitume.

Chapitre IV:
Expérience en laboratoire et résultats d'essais sur l'enrobé bitumineux

Chapitre IV: Expérience en laboratoire et résultats d'essais sur l'enrobé bitumineux

IV.1. Préparation de l'enrobé bitumineux

On commence par peser les masses nécessaires des différentes fractions granulaire (0/3, 3/8, 8/15) correspondant aux pourcentages prédéfinis par l'étude de formulation. On les met dans un bac, puis dans une étuve régulée à 200°C pendant 4 heures avant le malaxage. Parallèlement, pour la préparation du bitume modifié, On chauffe le bitume à une température de 170°C. Concernant la préparation du mélange bitumineux destiné à la fabrication des éprouvettes pour l'essai, on place le tout (granulat + bitume modifié) dans le malaxeur puis on mélange durant trois min (figure V.1).



Figure IV.1 : Préparation des matériaux (Laboratoire LCTP).

IV.2. Expérience en laboratoire et résultat des essais sur l'enrobé bitumineux

Les caractéristiques mécaniques et physiques des matériaux bitumineux peuvent être déduites de l'analyse des résultats d'essais de laboratoire. Ces essais, normalisés lorsqu'ils servent au dimensionnement, sont effectué dans des conditions bien définies de température et de sollicitations. Ils sont réalisés sur des éprouvettes confectionnées au laboratoire ou prélevées sur place.

Les mélanges de bétons bitumineux pour les essais sont maintenus à une température comprise entre 160°C et 170°C (figure IV.2).



Figure IV. 2 : Mélange d'un enrobé bitumineux chaud.

Le tableau IV. 1 désigné les différents types de l'enrobé bitumineux fabriqué selon le type de sable utilisé a chaque fois

Tableau IV. 1 : Désignation des enrobé bitumineux fabriqué

La qualité de l'enrobé bitumineux	Le sable Utilisé
EBS1	Enrobé fabriqué par le sable de carrière
EBS2	Enrobé fabriqué par le sable de dune
EBS3	Enrobé fabriqué par le sable d'oued

IV.2.1. Essai à la Presse à Cisaillement Giratoire « PCG » (NF EN 12697 -31)

Cet appareil permet d'étudier l'aptitude au compactage et d'estimer la tendance à l'orniérage des enrobés bitumine.

Le compacteur giratoire est un appareil servant à compacter en laboratoire des mélanges bitumineux confectionnés à chaud. Le compactage se fait dans un moule cylindrique pour conférer une forme de carotte à l'enrobé compacté.

Un mélange hydrocarboné préparé en laboratoire, est placé, foisonné et à la température d'essai (130°C à 160°C environ) dans un moule cylindrique de 150 mm de diamètre. On applique sur le sommet de l'éprouvette une pression, verticale de 0,6 MPa. En même temps, l'éprouvette est inclinée d'un angle faible de l'ordre 0,82° et soumise à un mouvement circulaire. Ses différentes actions exercent un compactage par pétrissage. Le mouvement global permet une réorientation des granulats pour faciliter le compactage sous des tractions excessives.

La masse (M) du mélange à introduire dans le moule, doit être déterminée par l'expression ci-dessous à partir de la masse volumique réelle ρ_m, du mélange, déterminée conformément à la norme **EN 12697-5**, et à partir de la hauteur minimale de l'éprouvette compactée h_{min} correspondant à un pourcentage de vide nul :

$$\boldsymbol{M = 10^{-9} * \pi * D^2/4 * h_{min} * \rho_M}$$

Avec :

M : la masse du mélange à introduire dans le moule, en (kg) ;

D : le diamètre interne du moule, en (mm) ;

h_{min} : la hauteur minimale de l'éprouvette compactée, correspondant à un pourcentage de vide nul, en millimètres (mm) ;

ρ_M : la masse volumique réelle du mélange, en (kg/m3).

Pour une presse à cisaillement giratoire h_{min} sera constante.

$$\boldsymbol{M = 10^{-9} * \pi * (150)^2/4 * 150 * 2.46 = 6.538\ kg}$$

Avant de remplir le moule de la PCG qui est cylindrique et de 150 mm de diamètre, il faut que ce dernier soit placé dans l'étuve au moins 3 heures à une température de 160°C. Ensuite on met un papier filtre dans la base du moule et nous le remplissons avec l'enrobé chaud. Une fois la masse nécessaire atteinte, on met un deuxième papier filtre au-dessus. Au final, on place le moule dans la PCG (figure III.6).

Au bout de 80 girations, ce qui ressort de l'essai est la détermination de la compacité et du pourcentage de vide.

La variation du pourcentage de vides de l'éprouvette compactée en fonction de l'énergie de compactage est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$\boldsymbol{e}\ (\%) = (\boldsymbol{H_g} - \boldsymbol{H_{min}} / \boldsymbol{H_g}) * \mathbf{100}$$

Avec :

$\boldsymbol{e}$: pourcentage de vides pour un nombre de girations, Ng, exprimé en (%) ;

H_g : la hauteur de l'éprouvette atteinte après un nombre de girations g en (mm)

H_{min} : la hauteur minimale de l'éprouvette compactée, correspondant à un pourcentage de vides nul en (mm).

Le tableau suivant présente les spécifications relatives au pourcentage de vides en fonction du nombre de girations :

Tableau IV.2 : Spécifications relatives au pourcentage de vides

Type d'enrobes	**Specification PCG a 'n' girations**	
	Nombre de giration (n)	**Pourcentage de vide (%)**
BBSG 0/14	10	> 11
	80	4 à 9



Figure IV. 3 : Déroulement de l'essai PCG

IV.2.1.1. Résultat de l'essai PCG

L'évolution des pourcentages des vides en fonction du nombre des girations pour chaque type de l'enrobé bitumineux sont représentés dans la figure IV.4 et le tableau IV.3 :

Tableau IV. 3 : Pourcentage des vides des mélanges

Nombre de giration	Pourcentage de vide de mélanges (%)			
	ESB1	ESB2	ESB3	Spécifications
10 girations	15,97	15,103	15,73	> 11
80 girations	8,08	11,913	9,80	4 à 9

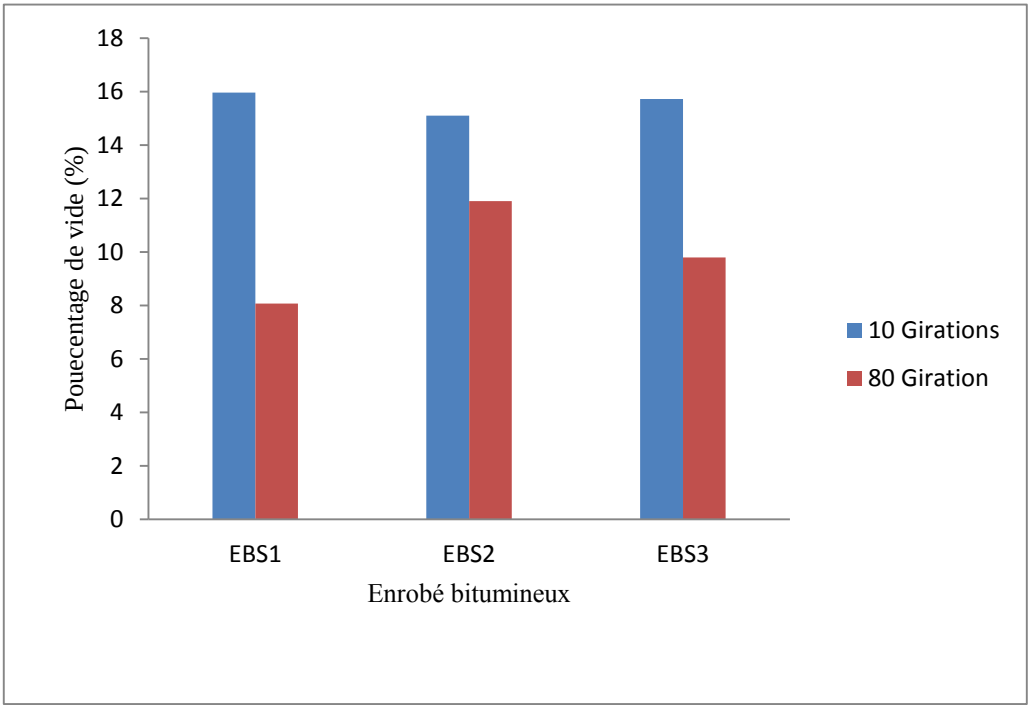


Figure IV. 4 : Pourcentage des vides en fonction de nombre de girations des enrobés bitumineux étudiés

D'après les résultats de la figure IV.4 et le tableau IV.3, nous constatons que :

- L'enrobé bitumineux ESB1 (Fabrique par le sable de carrière) répond aux spécifications des bétons bitumineux semi grenus, qui recommandent un pourcentage des vides supérieur à 11 % à 10 girations, et de 4 à 9 à 80 girations , les deux autres enrobé bitumineux ne répondes pas aux exigences, pourrait donner une indication sur le risque d'orniérage ;
- Le pourcentage de vides des enrobés bitumineux aux différents types de sables, diminue progressivement avec le nombre de girations ;
- L'enrobé bitumineux ESB1 (Fabrique par le sable de carrière) présent le pourcentage de vides la plus faible suivi par ESB2 (Fabriqué par le sable d'oued), et puis ESB3 (Fabriqué par le sable de dune). Ce qui revient au phénomène de lubrification des

mélanges, ce qui offre aux squelettes granulaires une maniabilité, ce qui peuvent de diminuer le vide ;

- Le enrobé bitumineux (ESB1) fabriqué par le sable de carrière nécessitent moins d'énergie de compactage pour avoir des compacités acceptables sur site. Ce résultat confirme que ce mélange exposé à l'essai de PCG présente une bonne aptitude au compactage.

IV.2.2. Essai Marshall (NF EN 12697-30)

L'essai Marshall permet de déterminer la « stabilité » et le « fluage » Marshall d'une éprouvette cylindrique de hauteur 63,50 mm et de diamètre 101,60 mm, soumise à une compression exercée suivant sa génératrice et ce, pour un compactage énergétique donné (50 coups sur chaque face de l'éprouvette).

Cette compression est appliquée sur les éprouvettes à une vitesse de 0,85mm/s après les avoir conservés dans un bain marie à 60°C pendant au moins 30 minutes (figure IV.5). Cinq (05) éprouvettes ont été testées dans chaque cas.

Les mesures effectuées à partir de l'essai Marshall sont :

- La « stabilité » Marshall (SM) est la charge maximale atteinte au moment de la rupture de l'éprouvette, exprimée en (KN).
- Le « fluage » Marshall (FM) est l'affaissement de cette même éprouvette à sa rupture par compression exprimé en (mm).

A l'issue de cet essai, on a mesuré la force maximale ainsi que le fluage correspondant. Avant l'essai nous avons déterminé les compacités et les volumes des vides d'air des différentes éprouvettes.



Figure IV. 5 : Déroulement de l'essai Marshall.

IV.2.2.1. Les compacités

Les compacités obtenues sont représentées sur la figure IV.6.

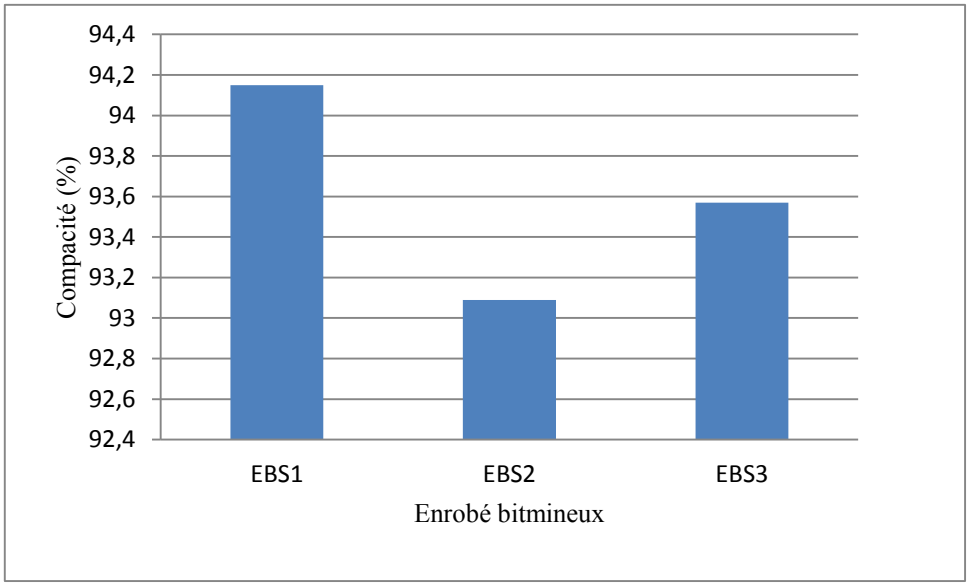


Figure IV. 6 : Compacité des différents mélanges

La figure IV.6 montre que la compacité est maximale pour l'enrobé bitumineux ESB1 (Fabriqué par le sable de carrière (environ 95%).

IV.2.2.2. Stabilité Marshall « SM » et fluage Marshall « FM »

La figure IV.7 montre les résultats de la stabilité Marshall notée « SM » et du fluage Marshall noté « FM ».

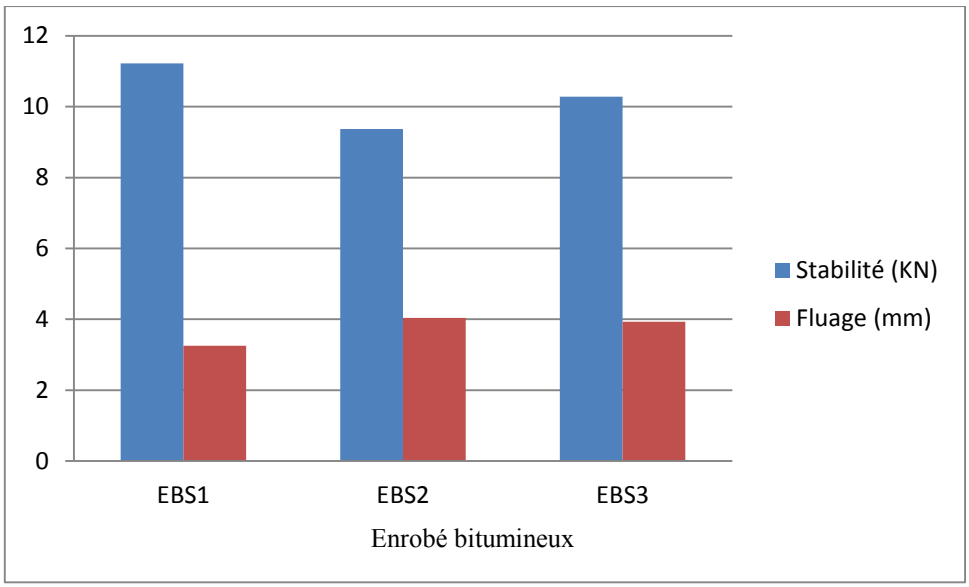


Figure IV. 7 : Stabilité et fluage Marshall en fonction de la teneur en sable.

La qualité de sable utilisé pour la fabrication de l'enrobé bitumineux influe sur la stabilité Marshall pour les mélanges étudiées. Cette stabilité est maximale pour l'enrobé bitumineux fabriqué par le sable de carrière.

Le fluage Marshall est minimal pour un enrobé bitumineux fabriqué par le sable de carrière.

IV.2.3. Essai de sensibilité à l'eau à 18°C « Duriez » (EN 12697-12)

Cet essai permet appréhender 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.

Le mode opératoire de cet essai consiste à préparer six (6) moules d'un diamètre de 80 mm, mettre les mélanges dans des moules (6 éprouvettes de masse de 1 kg) et compacter dans la presse hydraulique pendant 5 minutes par une pression équivalente à 60 kN puis laisser refroidir les moules (pendant 24 heures dans notre cas).

Après démoulage, on sépare les 6 éprouvettes selon leurs masses, en deux lots, l'un contient trois (3) éprouvettes conservées pendant 7 jours dans l'eau à une température de 18 ºC et les trois autres sont conservées pendant 7 jours à l'air dans une chambre humide à la même température mais avec taux d'humidité de 50 %. Après ce temps les éprouvettes sont écrasées avec une presse hydraulique commandée par un PC à une vitesse 50,00 mm/min (voir la figure IV.8):

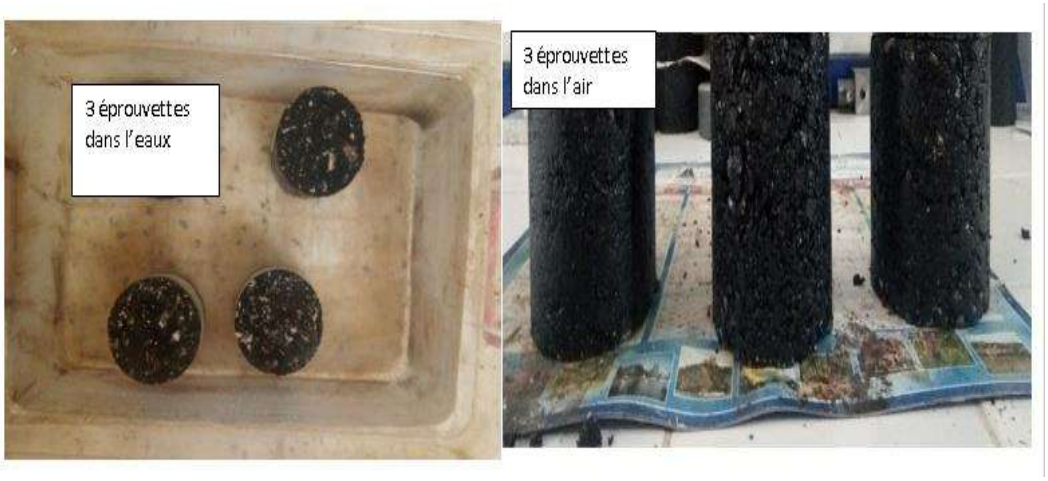


Figure IV. 8 : Conservation des éprouvettes dans l'eau et l'air a 7 jours

Après l'écrasement on obtient, la résistance des éprouvettes conservées en immersion notée (r) et la résistance d'éprouvettes conservées à l'air noté (R). Le rapport r/R est calculé, il exprime la tenue à l'eau de l'enrobé.

Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats de l'essai « Duriez » qui sont la masse volumique apparente des éprouvettes et ses résistances à la compression (valeur moyenne):

Tableau IV. 4 : Résultats de l'essai Duriez

Le mélange	Caractéristiques	A l'eau	A l'air
EBS1	MVa (g/cm^3)	2,17	2,19
	Résistance (Mpa)	12,09	15,57
	r/R	0,94	
EBS2	MVa (g/cm^3)	2,33	2,31
	Résistance (Mpa)	6,25	8,83
	r/R	0,55	
EBS	MVa (g/cm^3)	2,33	2,29
	Résistance (Mpa)	6,89	12,25
	r/R	0,75	

La figure IV. 9 représente la résistance moyenne à l'eau et à l'air de tous les mélanges des enrobés bitumineux étudiés.

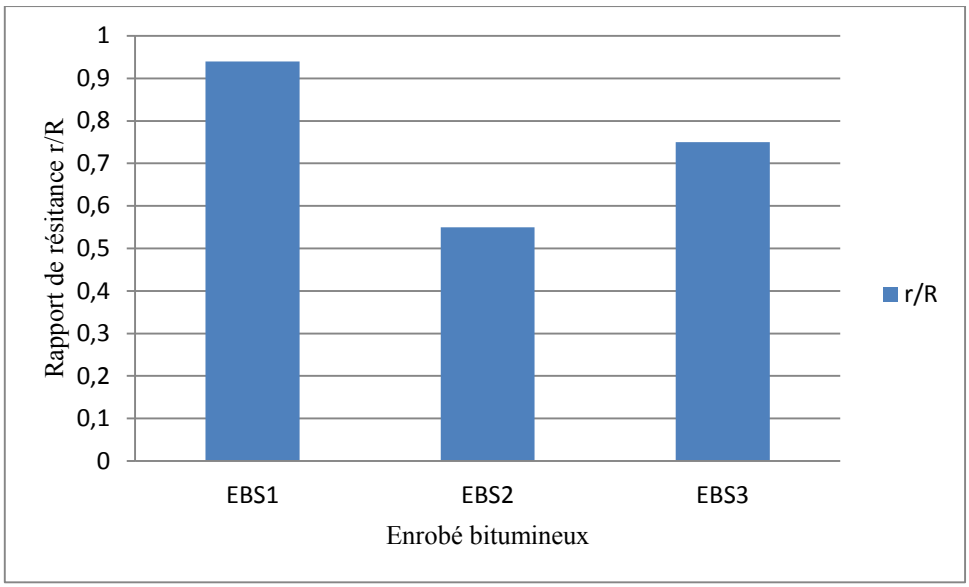


Figure IV. 9 : Résistance moyenne à l'eau et à l'air des mélanges d'enrobé bitumineux

L'analyse de la figure IV.9 montre que :

- L'enrobé bitumineux EBS1 (Fabriqué par le sable de carrière) respecte les spécifications de la norme EN 12697-12 et il est donne des résultats acceptables ($r/R \geq 0.8$), les deux enrobés bitumineux EBS2 et EBS3ne seront pas respectant les spécifications ($r/R= 0,55$ et $0,75 < 0.8$).
- La résistance maximale est obture dans l'enrobé EBS1. ceci peut être expliqué par le taux élevé de bitume qui offre plus d'efforts de cohésion.
- L'enrobé bitumineux EBS2 (Fabriqué par le sable de dune) donne les plus faibles résistances en compression à l'air et à l'eau.
- Le meilleur rapport est obtenu pour l'enrobé bitumineux EBS1, par conséquent, ce mélange présente une meilleure tenue à l'eau.

IV.3. Conclusion

A partir des résultats d'essais sur les différents types des enrobés bitumineux fabriqués par déférents types de sables. Nous concluons que l'enrobé bitumineux fabriqué par le sable de carrière est présenté les meilleure performances mécanique.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'enrobé bitumineux fabriqué dans cette étude est de type de Béton Bitumineux Semi Grenus BBSG 0/14, ayant les pourcentages des différents composants suivant le type de sable utilisé. La teneur en bitume choisie aussi selon le type de sable utilisé. Les trois types de sables utilisés dans cette étude est de : sable0/3 de carrière de l'entreprise EGUVA de Alger, le sable de dune de la région de Hassi Bahbah wilaya de Djelfa et le sable grossier d'oued de la région de la wilaya de Médéa.

Les résultats des différents essais réalisés sur les enrobé bitumineux fabriqués par ces trois types de sables montrent que, les caractéristiques mécaniques d'enrobé bitumineux fabriqué par le sable de carrière : la stabilité, le fluage, ainsi que la compactibilité et la résistance à la traction indirecte par l'essai de Duriez faisant l'objectif de cette étude sont conformes aux spécifications. Les bétons bitumineux modifiés apportent une amélioration mécanique par rapport à l'enrobé bitumineux fabriqué par les sable de dune et sable d'oued. L'enrobé bitumineux fabriqué par le sable de carrière présente des performances meilleures du point de vue résistance.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Bensaada. A, Etude de l'influence de l'association (EVA-NBR) et (EVA-déchet plastique alimentaire sur le vieillissement à court terme des bitumes et influence de l'association (EVA-déchet plastique alimentaire) sur le comportement mécanique des enrobés bitumineux modifies. Mémoire de magistère FGC/USTHB.2012

[2] https://docplayer.fr/44216778-Les-couches-de-roulement-presentation-des-techniques-criteres-de-choix-avantages-et-inconvenients.html

[3] Dang-Truc N. « prédiction des déformations permanentes des couches de surface des chaussées bitumineux ». Thèse de doctorat à l'ENPC, 2006.

[4] https://www.eqiom.com/granulats/nos-produits/granulats-pour-les-amenagements decoratifs

[5] **(**NF P 18-572) Essais pour déterminer les propriétés mécaniques et physiques des granulats – Partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro-Deval).

[6] (NF P 18-573) Essais pour déterminer les propriétés mécaniques et physiques des granulats – Partie 2 : détermination de la résistance à la fragmentation (Los Angeles).

[7] polissage Book 2017.

[8] KETTAB R. Bali et J.M. FLUREAU, (2002) : « Conception et Réalisation des Chaussées en Milieu Désertique (Design and Réalisation of Pavements in Désert Environnent) », Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieure,

[9] Khengaoui safia, valorisation du sable de dunes en couche de roulement -sable,bitume- en vue de l'obtention du diplôme de magister en génie civil, Université Kasdi Merbah de Ouargla- page 10, 2013

[10] « Recommandations sur l'utilisation des bitumes et des enrobés bitumineux à chaud » (2004), Ministère des Travaux Publics, Algérie.

[11] B. Fabvier, A. Le Coroller (2002), « les Bitumes ».

[12] Shell Bitumes (1991), « Bitumes Techniques et Utilisations ».

[13] Mehdi Ould-Henia (2005), « Modélisation Et Prédiction du Comportement Rhéologique des Mélanges Bitume Caoutchouc », Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Federale De Lausanne (Génie Civil).

[14] Didier Lesueur (septembre 2002), «La Rhéologie des Bitumes : Principes et Modification », Eurovia Management – polo de Emulsions, Rhéologie, Vol.2, 1-30 (2002).

[15] Olga Solomatnikova (Avril 1998), « Comportement Rhéologique et Propriétés Cohésives et Adhésives des Liants Bitumineux », Mémoire Pour L'obtention du Grade de Maitre ES. Sciences (M.Sc), Université Laval, Faculté des Sciences et Génie, (Département de Génie Chimique), Canada.

[16] **(**NF T 66-004) Bitumes et liants bitumineux —Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille

[17] (NF T 66-008) Bitumes et liants bitumineux-Détermination de la températurede ramollissement

[18] (NF 66-006) Bitumes et liants bitumineux-Détermination de la ductilité du bitume

[19] (NF T 66- 006) Bitumes et liants bitumineux-Détermination de la température Frass

[20] Berthe-Julienne DONGMO, 2005 « Caractérisation des déformations d'orniérage des chaussées bitumineuses », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.

[21] **(**EN 12697-31) Mélanges bitumineux -Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud-Partie 31 : Confection d'éprouvettes Marshall

[22] (NF P 98-251-1/EN 12697-12) Essais relatifs aux chaussées-Essais statiques sur mélanges Hydrocarbonés-Partie 1 : Essai DURIEZ sur mélanges hydrocarbonés à chaud/Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 12 : Détermination de la sensibilité à l'eau des éprouvettes bitumineuses Méthode B en compression.

[23] (EN 12697-31) Mélanges bitumineux -Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud-Partie 31 : Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire.