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'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Thème : Etude de comportement mécanique des enrobes bitumineux modifiés par le déchet plastique

---

Présenté par

1-BOUDJIGHAMI AHCENE

2-ZAAF YOUNES

Proposé et Dirigé par

Mr.BENSAADA ABD EL HALIM

Promotion Juin 2019

REMERICIEMENTS

Nous tenons à remercier notre promoteur **Mr. Bensaada el abdhalim** pour l'élaboration de cette étude.

Nos remerciements également à l'ensemble du corps enseignants de l'université YAHIA FARES en générale et plus particulièrement à ceux du GÉNIE GÉOTECHNIQUE, sans oublier les responsables de la bibliothèque qui nous a beaucoup facilité notre recherche bibliographique.

Nous remercions le groupe du laboratoire EPTRC Médéa.

Enfin, nos pensées à tous ceux qui nous ont aidé pour

Dédicace

Je dédie ce mémoire A mes chers parents ma mère et mon père pour leur patience, Leur soutien et leurs encouragements.

A mes chères sœurs et mes frères.

A tout ma grande famille et tous qu’ont une relation avec elle soit proche ou lointain.

A mes amies et les collègues de l'université.

Sans oublier tous les enseignants qui ont contribué à mon soutien scolaire.

RÉSUMÉ :

L'objectif du présent travail est de déterminer l'influence de la modification des enrobes bitumineux par le déchet plastqiue alimentaire sur les propriétés mécaniques des enrobés bitumineux. Le travail consiste en la présentation des différentes étapes de fabrication des enrobes modifiés ainsi que leurs formulations et utilisation. L'étude montre que:

La modification des enrobes bitumineux par le déchet plastqiue alimentaire améliore le comportement mécanique et rhéologiques des enrobés bitumineux. Cette amélioration se traduit par:

- Une augmentation de la stabilité, la compacité, et le quotient Marshall.
- Une diminution du fluage Marshall.
- Une augmentation du module de rigidité des enrobes bitumineux.
- Une réduction de l'énergie de compactage des enrobés bitumineux.

En plus de l'amélioration des caractéristiques des liants bitumineux qui se répercutera sur la durabilité des structures bitumineuses, l'environnement sera par cette pratique préservé par la valorisation des déchets industriels.

Mots clés : Enrobé bitumineux, Bitume,agrégats, Déchet plastique, Module rigidité,PSG,Marshall,duriez.

ملخص:

الهدف من العمل الحالي هو تحديد تأثير تعديل الطلاءات البيتومينية بواسطة نفايات الطعام البلاستيكية على الخواص الميكانيكية للخلطات البيتومينية. يتكون العمل من تقديم المراحل المختلفة لتصنيع الطلاءات المعدلة وكذلك تركيباتها واستخدامها. أظهرت الدراسة أن:

تعديل الطلاء القار بواسطة نفايات الطعام يحسن السلوك الميكانيكي والريولوجي للخلطات البيتومينية. ينتج عن هذا التحسين:

- زيادة في الاستقرار والاكتناز ونسبة Marshall.
- انخفاض في Marshall زحف.
- زيادة في معامل صلابة الطلاء القار.
- انخفاض في طاقة ضغط الخلطات البيتومينية.

بالإضافة إلى تحسين خصائص المجلدات البيتومينية، والتي سيكون لها تأثير على متانة الهياكل البيتومينية، سيتم الحفاظ على البيئة من خلال استعادة النفايات الصناعية.

الكلمات المفتاحية: مزيج الأسفلت، البيتومين، الركام، النفايات البلاستيكية,Module rigidité,PSG,Marshall,duriez.

ABSTRACT:

The objective of the present work is to determine the influence of the modification of the bituminous coatings by the plastic food waste on the mechanical properties of bituminous mixes. The work consists of the presentation of the various stages of manufacture of the modified coatings as well as their formulations and use. The study shows that:

Modification of bituminous coatings by food waste improves the mechanical and rheological behavior of bituminous mixes. This improvement results in:

- An increase in stability, compactness, and the Marshall quotient.
- A decrease in Marshall creep.
- An increase in the rigidity modulus of bituminous coatings.
- A reduction in the compaction energy of bituminous mixes.

In addition to improving the characteristics of bituminous binders, which will have an impact on the durability of bituminous structures the environment will be preserved by industrial waste recovery.

Key words: Asphalt mix, Bitumen, aggregates, Plastic waste, Rigidity module, PSG, Marshall, last.

Sommaire	Page
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur les enrobés bitumineux	3
I.1.Introduction	3
I.2.Généralités sur les chaussées	3
I.2.1. Types des chaussées	3
I.2.1.1. Les chaussées bitumineuses souples	3
I.2.1.2. Les chaussées bitumineuses épaisses	3
I.2.1.3. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou chaussées semi rigides	3
I.2.1.4. Les chaussées à structure mixte	3
I.2.1.5. Les chaussées à structure inverse	3
I.2.1.6. Les chaussées en béton de ciment	4
I.2.2. La structure de chaussée	4
I.2.2.1. Les couches de surface	4
I.2.2.2. Les couches d'assise	4
I.2.2.3. La couche de forme	4
I.2.2.4. Le fond de forme (sol support)	5
I.2.3. Modes d'endommagements des chaussées	5
I.2.4. Durée de vie des routes	5
I.3. Les enrobés bitumineux	6
I.3.1. Composition des enrobés bitumineux	7
I.3.1.1. Liants hydrocarbonés	7
I.3.1.1.1. Différents types des liants hydrocarbonés	7
I.3.1.1.2. Propriétés générales des liants hydrocarbonés	7
I.3.1.2.Granulats	11
I.3.1.2. 1.Rôles des granulats dans l'enrobe	11
I.3.1.2. 2.Classification des granulats	11
I.3.2. Classification des enrobes bitumineux	12
I.4.Influence des actions appliquées sur les enrobés bitumineux	15
I.4.1.Effet du trafic	15
I.4.2. Effet de la température	16
I.5. Comportements des enrobés bitumineux	17
I.6. La modification des enrobés bitumineux	18
I.7. Teneur en liant optimale bitumineux	18
I.8. Essais sur les enrobes bitumineux	18
I.8.1. Essai de la presse à cisaillement giratoire (PCG) (EN 12697-3)	19
I.8.1.1. Principe d'essai PCG	20
I.8.1.2. Réalisation d'essai PCG	21

I.8.2. Essai de sensibilité à l'eau à 18° C « Duriez » (EN 12697-12)	22
I.8.2.1. Principe d'essai Duriez	22
I.8.2.2.Appareillage	23
I.8.2.3. Réalisation d'essai Duriez	24
I.8.2.4. Expression des résultats tenue à l'eau	25
I.8.3. Essai Marshall (EN 12697-34)	25
I.8.3.1. Principe de L'essai	25
I.8.3.2.Appareillage	26
I.8.3.3. Le mode opératoire	27
I.8.4. Essai module de rigidité (EN 121697 – 26)	27
I.8.4.1. Principe des essais modules	27
I.8.4.2.Resultat	28
I.9.Les polymère	28
Chapitre II: Caractérisation des matériaux	30
II.1. Essais d'identification des agrégats	30
II.1.1. Analyse granulométriques (NF P 18-560)	30
II.1.2. Coefficient d'aplatissement (NF P 18-561)	34
II.1.3. Essaie D'équivalent De Sable à 10% De Fines(NF P 18-597)	36
II.1.4.Essai Los-Angeles(NF P 18-573)	37
II.1.5. Essai Micro-Deval (NF P 18-57)	38
II.1.6.Masse volumique absolue des agrégats(NF P 18-554)	39
II.1.7 Conclusion sur les granulats	40
II.2. Les essais réalisés sur le bitume	40
II.2.1.Essai de densité relative A 25° C (NF T 66 – 007)	40
II.2.2. Essai de pénétrabilité aiguille (NF EN 1426)	41
II.2.3. Essai de point de ramollissement (NF EN 1427)	41
II.2.4. Essai de perte de masse au chauffage (NF EN 13303)	42
II.2.5. Conclusion sur le bitume	43
II.3. Le déchet plastique alimentaire	43
II.4.Conclusion	44
Chapitre III : Dispositif expérimental et résultat des essais	45
III.1. Etude de formulation	45
III.1.1. Composition mélange	45
III.1.2. Teneur en liant	48
III.1.3. Pourcentage de déchet plastique alimentaire	49
III.1.4. Malaxage au laboratoire	49
III.2. Expérience en laboratoire et résultat des essais	50
III.2.1. Essai de presse à cisaillement giratoire (PCG) (EN 12697-31)	50
III.2.1.1. Interprétation des résultats de l'essai PCG	54

III.2.2. Essai Marshall (EN 12697-34)	55
III.2.2.1 Caractéristiques de l'éprouvette	56
III.2.2.2. Expression des résultats	58
III.2.2.3. Interprétation des résultats	61
III.2.3. Essai de sensibilité à l'eau à 18° C « Duriez » (EN 12697-12)	62
III.2.3.1 Caractéristiques de l'éprouvette	62
III.2.3.2. Expression des résultats	65
III.2.3.3. Interprétation des résultats	69
III.2.4. Essai module de rigidité (EN 12697-26)	69
III.2.4.1. Interprétation des résultats	70
III.3. Conclusion	70
Conclusion générale	71
Liste des références bibliographie	72
Liste des normes	75

Liste des figures	Page
Chapitre I : Généralité sur les enrobés bitumineux	3
Fig I.1 : Coupe transversale schématique de la chaussée	4
Fig I.2 : Diagramme des phases Tirée de norme LC : Enrobés : Formulation selon la méthode LC (2006)	6
Fig I.3 : Gisement naturel de bitume avec un morceau de bitume provenant d'un gisement naturel	7
Fig I.4 : Principe de fabrication bitume	9
Fig I.5: Schématisation de la structure colloïdale d'un bitume routier	10
Fig I.6: Classification des enrobes bitumineux	13
Fig I.7 : Schématisation des sollicitations induites par le trafic	15
Fig I.8 : Schématisation des sollicitations induites par la température	16
Fig I.9 : Comportements des enrobés bitumineux	17
Fig I.10 : Niveaux de l'épreuve de formulation	19
Fig I.11 : Principe de Cisaillement Giratoire	21
Fig I.12 : Principe d'essai La tenue à l'eau	22
Chapitre II:Caractérisation des matériaux	30
Fig II.1 : Courbe d'analyse granulométrique sable 0/3	32
Fig II.2 : Courbe Analyse granulométrique Gravier 3/8	33
Fig II.3 : Courbe d'analyse granulométrique gravier 8/15	34
Chapitre III : Dispositif expérimental et résultat des essais	45
Fig III.1 : Disposition des courbes granulométriques des constituants par rapport la courbe médiane de fuseau	45
Fig III.2 : La composition proposée	46
Fig III.3 : Courbe de mélange granulaire s'insère au fuseau de référence BB 0/14	47
Fig III.4 : L'évolution de compacité des mélanges bitumineux en fonction de nombre de girations	53
Fig III.5 : Stabilité Marshall en fonction de pourcentage de déchet plastique alimentaire	59
Fig III.6: Fluage Marshall en fonction de pourcentage de déchet plastique alimentaire	60
Fig III.7: Quotient Marshall en fonction de pourcentage de déchet plastique alimentaire	60
Fig III.8: Variation de la résistance à la compression en immersion en fonction de pourcentage déchet plastique alimentaire	68
Fig III.9 : Variation de la résistance à la compression à l'air à 18°C en fonction de pourcentage déchet plastique alimentaire	68

Liste des photos	Page
Chapitre I : Généralité sur les enrobés bitumineux	3
Photo I.1 : Machine La Presse Cisaillement à Giratoire	20
Photo I.2 : Moules et pistons	23
Photo I.3 :Machine de compression	23
Photo I.4: a) Compactage des éprouvettes ; b) Conservation des échantillon	24
Photo I.5 : Compression des éprouvettes	25
Photo I.6 : Un bain thermostatique	26
Photo I.7 : Une dame de compactage électrique	26
Photo I.8 : Appareille essai de Module	28
Chapitre II:Caractérisation des matériaux	30
Photo II.1: Equipement d'essai d'analyse granulométriques	31
Photo II.2: Essai de coefficient d'aplatissement	34
Photo II.3 :Essai d'équivalent de sable à 10% des Fines	36
Photo II.4 :Essai Los-Angeles	37
Photo II.5 : Essai Micro-Deval	38
Photo II.6 : Essai masse volumique absolue	39
Photo II.7 : Essai pénétrabilité aiguille	41
Photo II.8 : Essai de point de ramollissement	42
Photo II.9 : Essai de perte de masse au chauffage	43
Photo II.10 : Le déchet plastique alimentaire	44
Chapitre III : Dispositif expérimental et résultat des essais	44
Photo III.1 : Les étapes de malaxage le mélange	50
Photo III.2 : Mélange final pour tous les pourcentages de déchet plastique alimentaire	50
Photo III.3 : Essai de presse à cisaillement giratoire	51
Photo III.4 : Les éprouvettes de béton bitumineux de référence après l'essai PCG	53
Photo III.5 : Les éprouvettes des mélanges de béton bitumineux modifiés après l'essai PCG	54
Photo III.6 : préparation des éprouvettes avec compactage	55
Photo III.7: Les éprouvettes de béton bitumineux de référence mettre à l'intérieur de bain marie	56
Photo III.8 : Les éprouvettes des mélanges des bétons bitumineux modifiés mettre à l'intérieur de bain marie	56
Photo III.9 : mesure le poids et hauteur de chaque éprouvette	57
Photo III.10 : Presse Marshall pour calcul charge maximale (stabilité Marshall)	58
Photo III.11: Eprouvettes de béton bitumineux de référence après passage à la presse Marshall	61

Photo III.12: Eprouvettes des mélanges de bétons bitumineux modifiés après passage à la presse Marshall	61
Photo III.13: Compacter les éprouvettes par la presse hydraulique	62
Photo III.14: démoulage les éprouvettes par la presse hydraulique	63
Photo III.15: conservation les éprouvettes dans l'eau et l'air pendant 7 jour	63
Photo III.16: Ecrasement les éprouvettes par la presse hydraulique (charge de rupture)	65
Photo III.17: la forme des éprouvettes pour réaliser essai de module	69

Liste des tableaux	Page
Chapitre I : Généralité sur les enrobés bitumineux	3
Tableau I.1 : Exemple des Spécifications relatives au pourcentage de vides	22
Tableau I.2 : Principaux agents modifiants des bitumes	29
Chapitre II:Caractérisation des matériaux	30
Tableau II.1 : Analyse granulométrique de sable 0/3	31
Tableau II.2 : Analyse granulométrique de gravier 3/8	32
Tableau II.3 : Analyse granulométrique gravier 8/15	33
Tableau II.4 : Coefficient d'aplatissement gravier 3/8	35
Tableau II.5: Coefficient d'aplatissement gravier 8/15	35
Tableau II.6 : Equivalent de sable	37
Tableau II.7 : Los Angeles 3/8 et 8/15	38
Tableau II.8 : Micro-Deval 3/8, 8/15	39
Tableau II.9 : Mases volumique de gravier 3/8 et 8/15	39
Tableau II.10 : Densité relative de bitume	41
Tableau II.11 : Pénétrabilité de bitume	41
Tableau II.12 : Point de ramollissement de bitume	42
Tableau II.13 : Perte de masse de bitume	43
Chapitre III : Dispositif expérimental et résultat des essais	44
Tableau III.1 : Mélange granulaire	47
Tableau III. 2 : composition de la formule utilisée	49
Tableau III.3 : Pourcentage et poids de déchet plastique alimentaire	49
Tableau III.4 : Composition du mélange	49
Tableau III.5 : Résultats de l'essai PCG	52
Tableau III.6 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux de référence	57
Tableau III.7 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux modifies	57
Tableau III.8 : Résultats d'essai Marshall l'éprouvette Béton bitumineux de référence	58
Tableau III.9 : Résultats d'essai Marshall l'éprouvette Béton bitumineux modifies	59
Tableau III.10 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux de référence	64
Tableau III.11 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (1% de déchet plastique)	64
Tableau III.12 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (3% de déchet plastique)	64
Tableau III.13 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (5% de déchet plastique)	65

Tableau III.14 : Résultats d'essai 'duriez' de l'éprouvette Béton bitumineux de référence	66
Tableau III.15 : Résultats d'essai 'duriez' de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (1% de déchet plastique)	66
Tableau III.16 : Résultats d'essai 'duriez' de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (3% de déchet plastique)	67
Tableau III.17 : Résultats d'essai 'duriez' de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (5% de déchet plastique)	67
Tableau III.18: Résultats de l'essai module (15°C et 10 Hz)	70

LEXIQUE

Asphaltènes: Famille de composés chimiques du bitume insolubles dans les solvants de bas poids moléculaire et soluble dans le toluène.

Béton bitumineux : Enrobés riches en bitume, utilisés essentiellement en couche de roulement. Les classes de ce type d'enrobé se différencient par l'épaisseur de la couche qu'ils vont constituer sur la chaussée. Ainsi, un BBSG est appliqué en couche de 6 à 14 cm en moyenne.

Bitume modifié polymère : Liant qui, par addition de polymères organiques à des bitumes, conduit à des produits fabriqués en usine et livrés prêt à l'emploi comme un bitume classique.

Bitume soufflé : Bitume modifié par soufflage d'oxygène ce qui provoque une oxydation de certaines fonctions et une augmentation globale de la viscosité.

Couche de roulement : Couche supérieure de la chaussée, qui est contact directe avec les véhicules.

Couche de base: Couche inférieure de base (Couche d'assise).

Cribler : Séparation des granulats d'enrobés selon leur taille.

Ductilité: Capacité d'un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre.

Emulsion directe : Dispersion d'une phase organique sous forme de gouttelettes, dans une phase aqueuse.

Enrobé : Mélange de granulats et de liant bitumineux utilisable en technique routière.

Eprouvette : Lors du moussage, il s'agit d'une éprouvette en verre graduée.

Eprouvette d'enrobé : Carotte d'enrobé (terme utilisé lors des essais PCG et Duriez).

Essais Duriez : Essai qui détermine la résistance à la compression et la résistance au

désenrobage d'un enrobé.

Essai de module :mise en traction d'une éprouvette d'enrobés cylindrique pour différents niveaux de déformations et différents temps de chargement dans une gamme de températures allant de -10°C à + 30 °C.

Essais PCG : Essai qui traduit le comportement de l'enrobé lors du compactage.

Filler : Granulat fin, de 0 à 125 µm environ et destiné à augmenter la compacité du matériau.

Fluage: Déformation que subit un matériau lorsqu'il est soumis à une contrainte constante et maintenu à une température donnée.

Granulats d'enrobés : fragments issus d'enrobés bitumineux rabotés sur la chaussée, puis concassés. Ils sont constitués de granulats entourés d'un film de bitume vieilli.

Grave-bitume: Enrobé à faible teneur en bitume destiné essentiellement aux couches de fondation d'une chaussée.

Liant bitumineux : Mélange de bitume et d'un ou plusieurs additifs (huile, polymère…).

Maltènes : Famille de composés chimique du bitume, soluble dans le n-heptane, composée d'huiles saturées, d'huiles aromatiques et de résines polaires.

Module rigidité : Caractéristique mécanique qui se prête à la modélisation de phénomènes viscoélastiques. Il s'agit d'un nombre complexe défini comme le rapport entre l'amplitude d'une contrainte sinusoïdale de fréquence w appliquée à un matériau et l'amplitude de la déformation qui en résulte.

Pénétrabilité: Mesure de consistance du bitume à 25°C (mesurée en dixième de millimètres : dmm).

Squelette granulaire : Fraction minérale recomposée qui forme la fraction minérale de

l'enrobé.

Susceptibilité thermique : Qualifie la sensibilité du bitume aux températures.

Température bille-anneau : Température à laquelle le bitume atteint une certaine consistance.

Liste des symboles

F Filler

S Sable fin

S Sable grossier

G Gravier

K Module de richesse

Σ Surface spécifique

TL Teneur en liant

J Jours

M Masse des éprouvettes

r Résistance à la compression avec immersion à 18°C en Kg/cm ²

R Résistance à la compression sans immersion à 18°C en Kg/cm²

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

H Hauteur des éprouvettes

D Diamètre

MvR Masse Volumique Réel

MvA Masse Volumique Apparente

V Pourcentage de vide

PCG Presse Cisaillement Giratoire

| E| Module rigidité

φ Angle de phase

BBSG Béton bitumineux semi grenus

BB Béton bitumineux

GB Grave-bitume

SB Sable -bitume

BBME Béton bitumineux à module élevé

Introduction générale

Introduction générale

L'utilisation des enrobés bitumineux dans les chaussées est très connu, ils représentent un matériau fondamental pour la réalisation couche de roulement. Le développement de ces matériaux permet d'améliorer la qualité des ouvrages ainsi que leur durabilité. Parmi les améliorations apportées sur les enrobés bitumineux on peut citer la modification des enrobés bitumineux par le polymère ou les déchets industrielles, cette technique qui très utilisée dans le monde et peut connu en Algérie, mérite d'être présentée dans une mémoire de fin d'étude.

Les propriétés recherchées pour un matériau bitumineux dépendent aussi de la couche dans laquelle il est employé. Ainsi pour la couche de roulement exerce directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. L'enrobé doit être plutôt rigide, résistant en fatigue, résistant aux déformations permanentes et relativement compact, et dans ce cas il vient les études de formulation au but de trouver le meilleur mélange.

À l'autre part la formulation des mélanges est d'autant plus délicate que souvent, pour les enrobés bitumineux, l'amélioration d'une caractéristique, cette amélioration pourrait s'obtenir en modifiant l'enrobée par ajout des polymères.

La manière d'aborder de question est variée et dépend fortement du contexte local. Un état de l'Art de la formulation dans les divers pays, l'Algérie pendant une longue période utilise des méthodes empiriques dans ces études de formulation basé sur deux essais uniquement, essai Duriez et essai Marshall.

Et dans une diversité dans les types enrobés bitumineux, et l'apparition des nouveaux types des enrobés, spécialement avec les enrobés à module élevée, qui sont caractérisés par leur durabilité élevée, et leurs performances mécaniques, la méthode traditionnelle, deviens pauvre en termes des informations techniques nécessaires pour caractériser ce type d'enrobé.

La méthode européenne propose un système d'épreuve, composé de quatre niveaux, avec des conditions de passage entre niveaux et autre, le choix de niveaux de formulation dépend du type d'enrobé et l'importance de projet.

Dans cette étude de recherche **(Etude de l'influence de l'ajoute de déchet plastique alimentaire sur le comportement mécanique des enrobés bitumineux)**, on va essayer de répondre à la question : comment réalise cette méthode de formulation ? Et nous pouvons également aboutir à une réponse plus profonde de la question, quant à l'ajout de déchet plastique alimentaire sur les enrobé bitumineux et si elle améliore les caractéristiques mécaniques ?

Et dans ce sens, et au but de répondre aux questions précédentes, est utilisée dans les mélanges bitumineux comme agent modifiant lors de l'opération de malaxage de l'enrobé lui offrant de meilleures performances en termes de qualité d'usage et de durabilité, L'approche expérimentale du présent travail consiste à mener des essais de laboratoire sur des mélanges bitumineux, étapes par étapes.

Pour atteindre ce but, on a scindé le présent travail en 3 chapitres :

CHAPITRE I : Généralité sur les enrobes bitumineux et étude de formulation, présentant. Les notions de base de enrobés, composition, origine … etc. et présentation des notions de calcul dans le domaine des enrobés bitumineux, méthodes de mesure des performances des enrobes bitumineux.

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux, qui présentent les différents résultats des essais réalisés sur les matériaux utilisés dans ce travail.

CHAPITRE III : Dispositif expérimental et les essais réalisés, sur le mélange bitumineux qui montrent la méthodologie de l'étude et l'interprétation des résultats obtenus et enfin une conclusion générale.

Chapitre I : Généralité sur les enrobés bitumineux

Chapitre I : Généralité sur les enrobés bitumineux

I.1.Introduction:

Dans ce chapitre nous allons définir les enrobés bitumineux. Tout d'abord nous présentons brièvement quelques généralités sur l'enrobé bitumineux et ses composants (bitume et granulats) avec les caractéristiques appropriées de chacun d'eux, les liants hydrocarbonés et les polymères avec quelques travaux de recherches des enrobés bitumineux.

I.2.Généralités sur les chaussées:

La chaussée est la partie d'une affectée à la circulation des véhicules. Elle assure les déplacements des usagers et le transport des marchandises, quelles que soient les conditions météorologiques, dans des conditions de sécurité et de confort adapté au type d'itinéraire, D'un point de vue mécanique, son rôle est de répartir les charges mécaniques sur le sol support, quelles que soient les conditions environnantes.

I.2.1. Types des chaussées :

Le réseau routier est caractérisé par une grande diversité de structures de chaussées que l'on peut regrouper en six grandes familles.[1, 2, 3, 4]

I.2.1.1. Les chaussées bitumineuses souples :

Sont constituées d'une couche de fondation en grave non traitée et d'une couche de base bitumineuse d'épaisseur inférieure à 15 cm. La couche de surface est constituée d'une faible épaisseur de matériaux bitumineux parfois réduite à un simple enduit.

I.2.1.2. Les chaussées bitumineuses épaisses :

Sont constituées de matériaux bitumineux en assise (fondation et base) d'épaisseur totale pouvant aller jusqu'à 40 cm, recouverts d'une couche de surface bitumineuse.

I.2.1.3. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou chaussées semi rigides :

Comportent, sous une couche de surface bitumineuse, des couches de base et de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (grave ciment, grave laitier, grave-cendres volantes). L'assise a une épaisseur totale comprise entre 20 et 50 cm.

I.2.1.4. Les chaussées à structure mixte :

Présentent une couche de surface et une couche de base (de 10 à 20 cm) en matériaux bitumineux sur une couche de fondation (de 20 à 40 cm) traitée aux liants hydrauliques.

I.2.1.5. Les chaussées à structure inverse :

Sont des chaussées à structure mixte dans lesquelles une couche de grave non traitée vient s'intercaler entre les couches bitumineuse et hydraulique.

I.2.1.6. Les chaussées en béton de ciment :

Elles sont constituées par une couche de fondation en grave ciment (15 cm), surmontée par une dalle de béton de 25 cm d'épaisseur. Des joints transversaux et longitudinaux sont réalisés tous les 4 à 5 m pour éviter une fissuration anarchique du béton.

I.2.2. La structure de chaussée :

Une chaussée se présente sous la forme d'une structure multicouche **(figure I.1)**, dont laquelle on peut distinguer trois niveaux distincts.

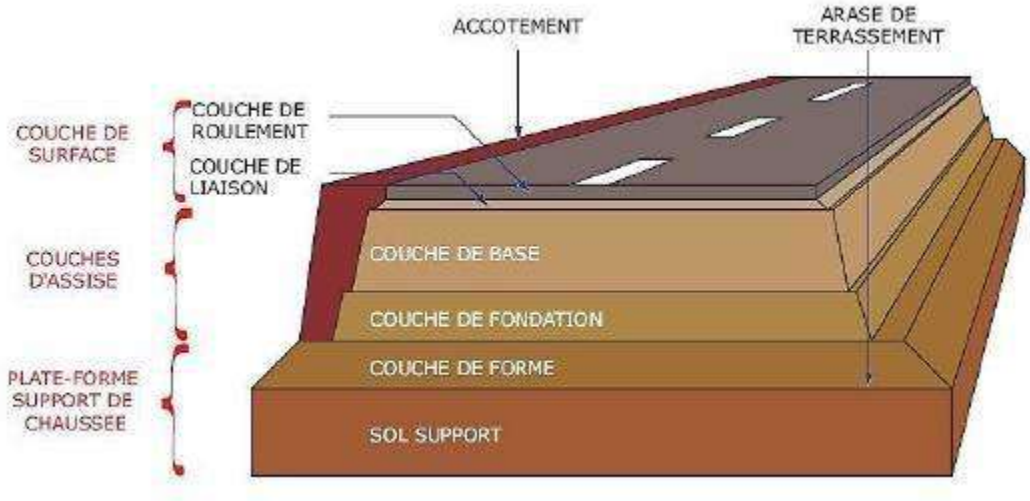


Fig I.1 : Coupe transversale schématique de la chaussée

I.2.2.1. Les couches de surface :

a)Couche de roulement : c'est la couche supérieure de la structure routière sur laquelle s'exerce directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. Elle attribue à la chaussée les caractéristiques suivantes : adhérence, drainage, uni, bruit de roulement.

b) Couche de liaison : c'est la couche intermédiaire entre la couche de roulement et la couche de base, elle contribue à l'amélioration de l'uni de la chaussée et renforce la protection mécanique, thermique et hydraulique de l'assise par imperméabilisation. Elle supporte principalement les efforts tangentiels et assure un rôle primordial contre la formation d'ornières.

I.2.2.2. Les couches d'assise :

a) Couche de base : c'est la couche située sous la couche de surface assurant une protection thermique de la plate-forme (couche de forme) et une capacité portante du revêtement. Elle est destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales.

b) Couche de fondation : c'est la couche située sous la couche de base, destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales sur le sol de fondation et à former le support du revêtement. Elle assure ensemble avec la couche de base la protection thermique de la plate-forme.

I.2.2.3. La couche de forme :C'est constitué de matériaux sélectionnés, de matériaux rapportés (remblai) ou réalisée par un traitement spécial destiné à améliorer les caractéristiques du terrain. Elle assure la protection du sol support et contribue à l'homogénéisation des caractéristiques portantes.

I.2.2.4. Le fond de forme (sol support) :

C'est l'ensemble des matériaux en place, existant avant les terrassements ou à défaut le déblai, qui est l'ensemble des matériaux en place obtenu après excavation. [1,5,6]

I.2.3. Modes d'endommagements des chaussées :

Les chaussées subissent les agressions combinées des efforts mécaniques et des variations de climat ainsi que l'eau. Les dégradations les plus couramment rencontrées sur la couche de roulement :

- Usure due aux efforts tangentiels exercés par les charges roulantes ;
- Usure due à la présence d'eau ;
- Orniérage par fluage (conditions extrêmes de température et trafic) ;
- Fissuration de fatigue par manque d'adhérence de la couche de surface sur l'assise ;
- Fissuration par remontée des fissures de la couche d'assise ;
- Fissuration par fatigue thermique suite à un vieillissement du bitume sur les couches d'assise traitées ;
- Fissuration de fatigue due à la répétition des efforts de traction par flexion ;
- Fissuration de prise et de retrait thermique des graves traitées aux liants hydrauliques ;
- Fissuration due au gradient thermique des dalles de béton ;
- Pompage et décalage de dalle dans les couches présentant des fissures de retrait ou de joint sur les couches d'assise non liée et support de chaussée ;
- Déformation permanente de la structure due au cumul de déformation plastique.[1,2,7]

I.2.4. Durée de vie des routes :

Les différentes phases de vie d'une route sont :

- ✓ Conception /dimensionnement ;
- ✓ Fabrication des enrobés ;
- ✓ Mise en œuvre des enrobés ;
- ✓ Entretien ;
- ✓ Démolition et recyclage.

Dans chacune de ces phases, l'incidence des effets environnementaux est établie pour :

- La consommation d'énergie ;
- L'utilisation de matières naturelles non renouvelables ;
- L'émission d'éléments nocifs pour l'homme, les animaux ou la végétation ;
- Les incidences négatives sur la qualité de l'air, de l'eau et du sol ;
- La possibilité de recyclage.[4]

I.3. Les enrobés bitumineux :

Les matériaux utilisés dans les chaussées routières sont un mélange dont les composants principaux sont le liant hydrocarboné (généralement du bitume) et les composants minéraux (filler, sable, gravillons ou gravier, pierres). Les caractéristiques et les propriétés mécaniques des matériaux bitumineux varient selon la composition volumétrique du mélange et sont surtout fonction de la taille du grain maximal, de la teneur en liant et de la teneur en vides du mélange. La teneur en masse de liant hydrocarboné est en général de 5 à 6%, le reste étant constitué par le squelette granulaire. L'obtention des enrobés par le mélange de granulats et de bitume fait appel aux propriétés de ses constituants que nous décrivons dans la suite du chapitre [8]. La composition d'un enrobé bitumineux compacté peut être représentée à l'aide du diagramme des phases tel qu'illustrée à la **(Figure I.2)**.

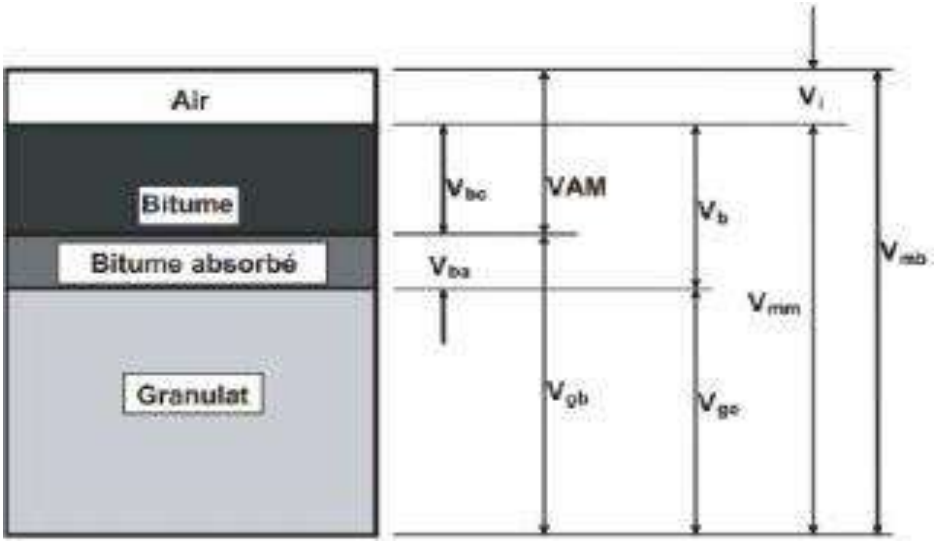


Fig I.2 : Diagramme des phases Tirée de norme LC : Enrobés : Formulation selon la méthode LC (2006)

Où :

-Vmb : volume brut de l'enrober ;

-Vi : volume des vides interstitiels ;

-Vmm : volume maximal de l'enrober (sans les vides interstitiels) ;

-Vb : volume total de bitume ;

-Vge : volume du granulat effectif ;

-VAM : volume des vides inter granulaires (entre les particules du granulat) ;

-Vgb : volume du granulat brut ;

-Vbe : volume de bitume effectif ;

-Vba : volume de bitume absorbé.

I.3.1. Composition des enrobés bitumineux :

Les enrobés bitumineux à deux composants principaux pour formuler, le liant hydrocarbonés et les granulats :

I.3.1.1. Liants hydrocarbonés :

Le mot "liant" peut être défini comme substance qui sert à rassembler de façon durable, des particules généralement solides, l'adjectif "hydrocarboné" désigne l'assemblage d'atomes de carbone et d'hydrogène. La substance additionnée aux particules solides développe au sein d'un mélange des forces d'adhésion et de cohésion, assurant une certaine rigidité et une résistance à la déformation en traction, une résistance à la compression et une résistance au cisaillement.

Les liants hydrocarbonés, jouent un rôle important dans la technique routière moderne, sont connus et utilisés depuis longtemps, les propriétés d'adhésivité et l'imperméabilité des bitumes naturels et les asphaltes ont été connus depuis l'apparition de la civilisation dans la vallée de l'Euphrate en Mésopotamie.

I.3.1.1.1. Différents types des liants hydrocarbonés :

- **Les liants naturels :**

Ce type se trouve dans la nature le plus souvent associés à des matières minérales, et qui sont utilisés depuis très longtemps. C'est la roche asphaltique qui se présente dans le gisement et qui après broyage donne asphalte ou bitume nature, voir la **figures I.3** :



Fig I.3 : Gisement naturel de bitume avec un morceau de bitume provenant d'un gisement naturel [10]

- **Les goudrons** :

Les goudrons proviennent de la distillation rapide (1100c°) ou lente (800c°) de diverses variétés de la houille de charbon. C'est un liquide noir brillant plus ou moins visqueux de densité supérieure à 1. Il faut 20 tonnes de houilles pour donner une tonne de gourons brute. Et ne sont plus utilisés fréquemment, mais ils le sont en Grande Bretagne où la houille demeure encore une source majeure de ce liant.

- **Le bitume :**

Un matériau thermoplastique, c'est-à-dire qu'il conserve ses propriétés après chauffage et que sa consistance varie avec la température. Cette modification de la consistance sur une large gamme de températures est particulièrement exploitée dans la construction routière. Solides à température ambiante, les liants bitumineux doivent être chauffés afin de modifier leur consistance lors de la fabrication et de la pose de l'enrobé. Une autre propriété fondamentale exigée d'un liant hydrocarboné est son pouvoir adhérent en présence d'un granulat minéral. Les principaux constituants du bitume sont le carbone (79 à 88%) et l'hydrogène (7 à 13%). On note également la présence de faibles quantités d'oxygène (2 à 8%) et d'azote (jusqu'à 8%), ainsi que des traces de nombreux métaux (fer, vanadium, nickel, aluminium, silicium, …).[9]

1-Fabrication des bitumes :

En fonction de la situation géographique du gisement, certains pétroles permettent d'obtenir une grande quantité de bitume et sont qualifiés de bruts à bitumes. Les différents types de bitumes sont obtenus à l'issue du processus de raffinage qui est composé plusieurs étapes **(figure I.5)** :

a-La distillation atmosphérique : Dans un premier temps, après avoir effectué les opérations de décantation et de dessalage, le pétrole brut est porté à une température d'environ 300°C. La phase vapeur est éliminée et condensée pour séparer les différents produits hydrocarbures (kérosène, gaz, essences, fuel, fuel lourd, ...) en fonction de leur volatilité. La fraction lourde restant au fond de la colonne constitue le résidu de la distillation directe et sert à l'élaboration du bitume. [10]

b- La distillation sous vide : Ce résidu est ensuite injecté dans une tour de distillation sous vide où la séparation des différents constituants se poursuit en jouant sur les paramètres débit, pression et température. Le produit formé en fond de cuve est alors un résidu de distillation sous vide.

c- Le soufflage : Une opération de soufflage peut être pratiquée sur le résidu de distillation sous vide pour des colonnes peu performantes ou selon d'autres procédés de fabrication des essences et des huiles minérales sur les résidus pour les amener à la dureté souhaitée. Le soufflage des bitumes consiste à injecter de l'air au sein d'une base bitumineuse elle-même portée à une température comprise entre 250°C et 300°C.

d-le désasphaltage: de très nombreuses réactions chimiques se déroulent provoquant une condensation des résines et de molécules d'asphaltènes. Le bitume obtenu est appelé bitume soufflé.

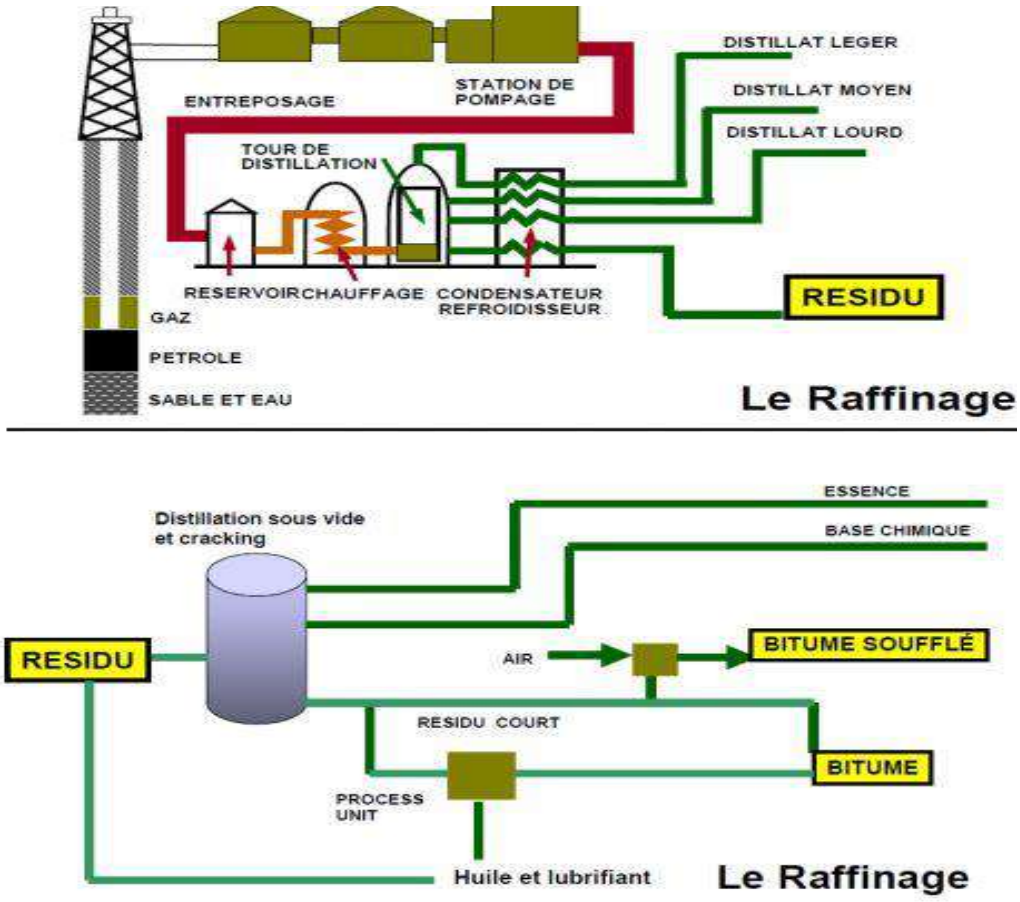


Fig I.4 : Principe de fabrication bitume [10]

2-Composition chimique et structure des bitumes :

On distingue deux grandes familles de composés du bitume : les **asphaltènes** et les **maltènes**. Les asphaltènes sont composés essentiellement d'hydrogène et de carbone et se présentent sous la forme d'un "solide" friable brun à noir. Généralement, les bitumes comportent 10 à 20% en poids d'asphaltènes. Quant aux maltènes, ils sont constitués principalement d'huiles **saturées**, d'huiles **aromatiques** et de résines. Les bitumes sont constitués de quatre famille principales connues sous l'appellation de fraction SARA (saturés, aromatiques, résines et asphlaténes).[11]

L'ensemble forme un système colloïdal constitué par une suspension de micelles d'asphaltènes peptisés par les résines dans un milieu huileux **(Figure I.5)**.En effet, les résines s'absorbent sur les asphaltènes et permettent leur dispersion dans le mélange huileux (hydrocarbures aromatiques et saturés). On dit qu'il y a peptisation. Les aromatiques assurent le rôle de solvant, tandis que les saturés assurent le rôle de floculant.

La dispersion des agglomérats d'asphaltènes est plus ou moins forte selon la composition de la phase maltène (huiles + résines) : la structure du bitume est, en effet, différente selon que les asphaltènes forment ou non un réseau floculé, baignant dans un milieu dispersant faiblement structuré par les résines. Dans ce cas, on parle de **structure "gel"** (élastoplastique). Dans le cas d'une structure où les asphaltènes forment une suspension diluée et bien stabilisée dans un milieu dispersant fortement structuré par les résines, les asphaltènes ne peuvent interagir. On parle alors de **structure "sol"** (visqueuse)[12],Une classe intermédiaire, appelée **"sol-gel"**, correspond aux bitumes intermédiaires.

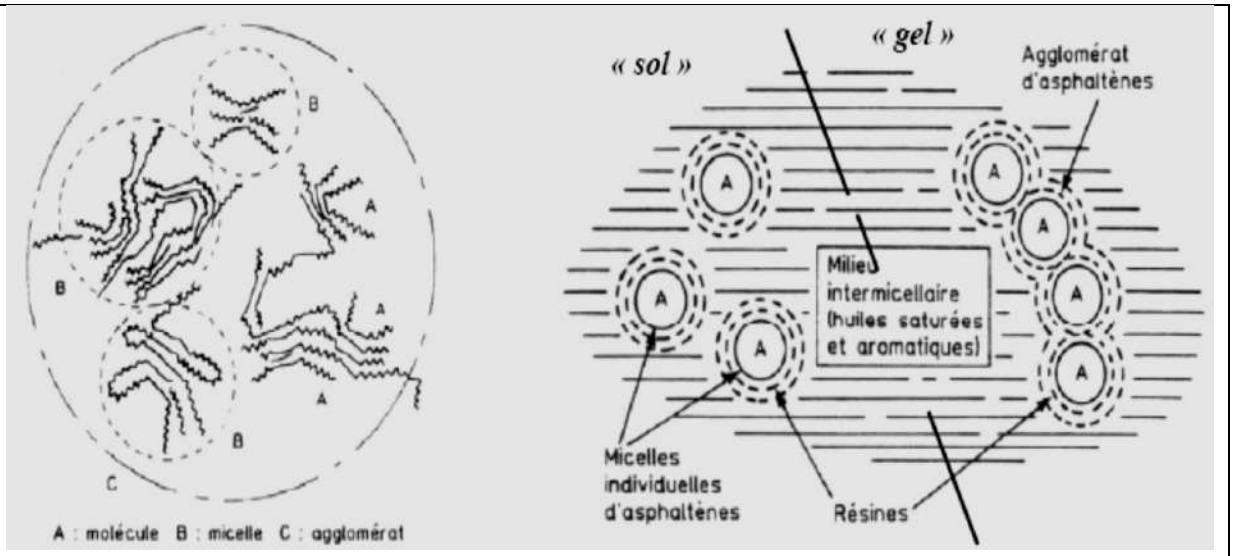


Fig I.5 a) Macrostructure des asphaltènes	Fig I.5 b) Schématisation de la structure colloïdale du bitume

Fig I.5: Schématisation de la structure colloïdale d'un bitume routier [12]

I.3.1.1.2. Propriétés générales des liants hydrocarbonés :

Ces produits sont, en général, trop visqueux dans leur état naturel, pour pouvoir être employés directement. Il faut diminuer cette viscosité ou les liquéfier par différents procédés (chauffage, dissolution dans des solvants volatils, émulsions dans l'eau), pour pouvoir les utiliser à la place qui leur est destinée [13]. Il est indispensable que ces traitements n'altèrent pas leurs caractéristiques essentielles indiquées ci-dessous:

a- Cohésivité: c'est la propriété de se déformer sans arrachement ni fissuration interne en donnant des films étanches et plastiques.

b- Adhésivité:c'est la propriété de coller aux granulats minéraux.

c- Viscosité: elle est définie comme la résistance opposée au sein d'une masse liquide à une déformation telle que la vitesse de déplacement de différents points soit variable, la viscosité diminue considérablement avec la température.

d- susceptibilité: la susceptibilité est définie, en particulier, comme la variation de la viscosité avec la température.

e- vieillissement: c'est pour le liant, la perte de certaines qualités dans le temps et notamment la perte de cohésivité. D'une manière générale, le liant laisse échapper très lentement des huiles et devient de plus en plus dur.

f- ductilité: c'est la caractéristique du liant qui lui permet de s'allonger en un fil très mince, mais sans se rompre, l'allongement plastique qui précède la rupture diminue progressivement. Cette qualité est évidemment une conséquence de la cohésivité.

I.3.1.2. Granulats :

Les granulats pour enrobés bitumineux sont des matériaux qui entrent dans la composition des mélanges hydrocarbonés destinés à la réalisation des couches de roulement, de liaison et d'assise de chaussées. Les granulats utilisés dans les enrobés peuvent être divisés en deux grandes catégories :

Les granulats naturels en provenance de carrières, sablières et gravières et les granulats d'autres origines tels que des granulats recyclés, des sous-produits d'origine industrielle ou des granulats fabriqués pour un usage spécifique. [14]

I.3.1.2. 1.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.[15]

I.3.1.2. 2.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 $D \leq 0{,}063$ mm ;
- Les sables 0/D avec $D \leq 6{,}3$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 d/D avec $d > 1$mm et $6{,}3\text{mm} < D \leq 80$ 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. 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.La propreté du filler, en particulier sa faible teneur en argile, est primordiale afin de garantir un bon comportement mécanique. L'arrangement des différentes classes granulaires forme la courbe granulométrique d'un mélange bitumineux.[16]

I.3.2. Classification des enrobes bitumineux :

Les " Enrobés bitumineux" sont des matériaux résultant d'un mélange des granulats et d'un liant hydrocarboné. Le mélange liant – granulats obtenu est constitué de trois phases [16] :

- La phase solide : représentée par le squelette granulaire ;
- La phase visqueuse : représentée par l'apport du liant qui assure la cohésion ;
- La phase gazeuse : représentée par le pourcentage des vides contenu dans le mélange ;

Dans le domaine routier on rencontre plusieurs et différent type des enrobés bitumineux, et le schéma suivant nous aide à connaitre les principales différences entre ces plusieurs types :

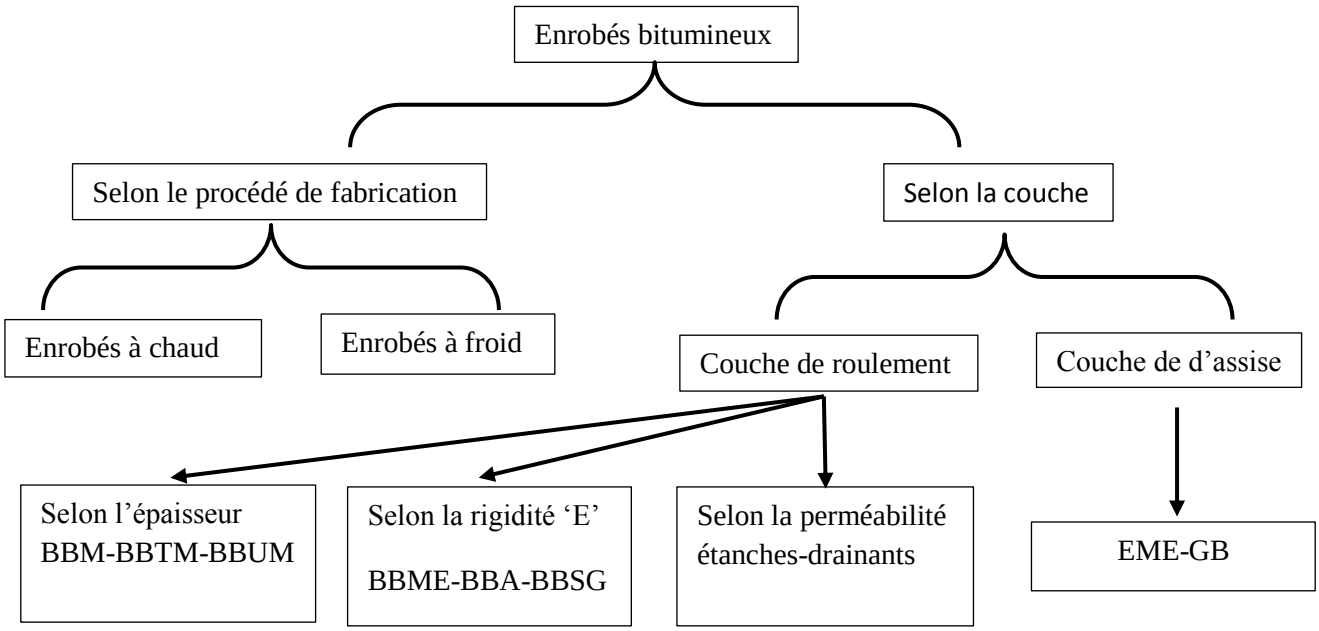


Fig I.6: Classification des enrobes bitumineux [17]

Et d'après cette classification on sort avec plusieurs types des enrobés, ci-dessous on présente quelques types et leurs utilisations :

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. Les classes granulaires des bétons bitumineux retenues dans le présent cahier des charges sont les suivantes : BB 0/8, BB 0/12, BB 0/14 [18]. Leur domaine d'utilisation diriger vers :

- Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison des bonnes caractéristiques mécaniques. Il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement.
- Selon le type, il convient pour couche de roulement ou couche de liaison de routes, autoroutes et aérodromes. Il est fabriqué, mis en œuvre et compacté à chaud.[19]

2- Grave-Bitume (GB) :

La grave-bitume (GB) est un mélange à granularité continue 0/20 se composant de granulats, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels. Elle est appropriée pour couche de base de routes, autoroutes et aérodromes. Elle est fabriquée, mises en œuvre et compactée à chaud et assure la portance de la chaussée et la répartition des charges du trafic transmis par les couches de surface. Elle sert aussi à établir le profil souhaité de la chaussée respectivement comme couche de reprofilage [18]. Leur domaine d'utilisation diriger vers :

- La technique des graves bitumes est destinée à la réalisation des assises de chaussée(couche de base et couche de fondation).

3- Sable bitume (SB) :

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). Le bitume utilisé doit être assez dur, de classe 40/50 ou 20/30 afin d'assurer une rigidité et une stabilité convenable. Leur domaine d'utilisation c'est d'emploi en couche de base pour les chaussées du réseau principal de niveau 2, il aussi utilise comme couche anti – ramant des fissures. [19]

4-Bétons bitumineux à module élevé (BBME ou EME) :

Ce mélange est destiné aux couches de liaison soumises à un trafic lourd (principalement pour diminuer l'orniérage) ; Ce sont des enrobes prépares à partir d'un mélange de liant hydrocarboné, de granulats et/ou d'additifs minéraux ou organiques, dosés, chauffés et malaxés dans une installation appelée centrale d'enrobage. Ils sont destinés à la réalisation des assises dans le cadre de travaux neufs ou de renforcement de chaussées. Ils se caractérisent par un module de rigidité élevé atteignant 11000 MPa et une plus grande résistance à la fatigue que les enrobés classiques [20]. Ces enrobés sont destiné 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.[19]
On distingue deux classes de performance classe 1 et classe 2, Les granularités utilisées sont
0/10, 0/14 et 0/20. [20]
Chaque type d'EME (BBME) comprend deux classes granulaires qui différent entre elles notamment par leur teneur en liant et la dureté. On distingue [20] :

- **EME Classe 1** : correspond à des graves bitumes à module élevé obtenues par l'emploi d'un bitume dur, aux dosages voisins de ceux des graves bitumes (GB) ;
- **EME Classe 2** : correspond à un enrobé à module élevé comportant, de plus, un très bon comportement en fatigue, du fait du dosage élevé en bitume dur, généralement parlant de l'EME.Les types des enrobes mentionnes au-dessus les plus connais et utilisent en Algérie, reste entre types des enrobe tels que drainant, aéronautique…etc ;

I.4.Influence des actions appliquées sur les enrobés bitumineux :

I.4.1.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}. Chaque couche de chaussée subit des écrasements et des flexions sous l'effet du trafic **(Figure I.7)**. Le calcul des efforts et des déformations qui s'effectue traditionnellement en considérant des multicouches élastiques linéaires isotropes, nécessite, en premier lieu, la connaissance du module de Young et éventuellement du coefficient de Poisson (pour résoudre un problème considéré comme élastique). [21]

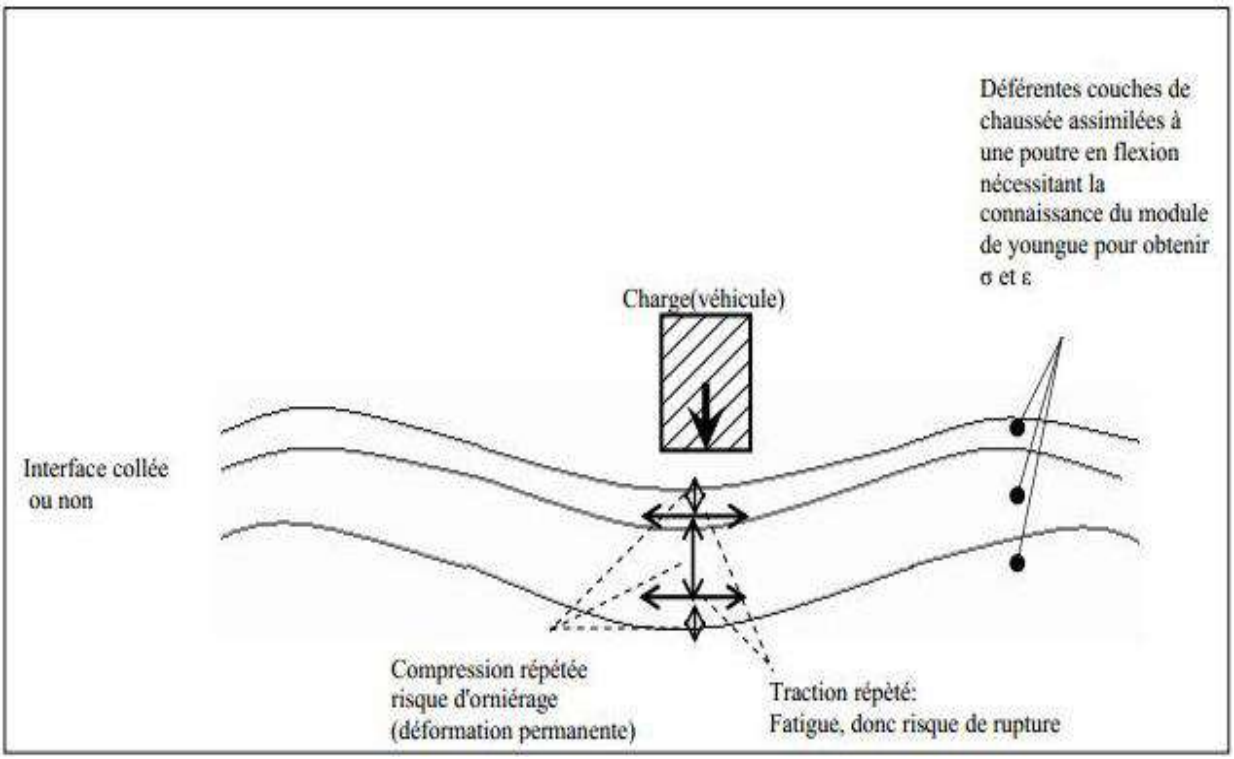


Fig I.7 : Schématisation des sollicitations induites par le trafic [22]

Les tractions répétées à la base des couches, sous l'effet du passage des véhicules, créent des micro-dégradations qui s'accumulent et peuvent entraîner la ruine du matériau (phénomène de fatigue). Les compressions répétées sous le passage de la charge peuvent créer des déformations permanentes qui induisent parfois un orniérage à la surface de la chaussée. Cet orniérage peut être dû au tassement des couches de béton bitumineux mais peut aussi être dû éventuellement aux déformations de couches inférieures non traitées. Nous pouvons également souligner qu'en raison des propriétés particulières apportées par le liant bitumineux, les enrobés possèdent un comportement (donc un module) fortement dépendant de la température et de la vitesse de chargement.

I.4.2. Effet de la température :

Autre les chargements mécaniques, les chaussées subissent des chargements consécutifs aux variations de la température **(figure I.8)**. 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.

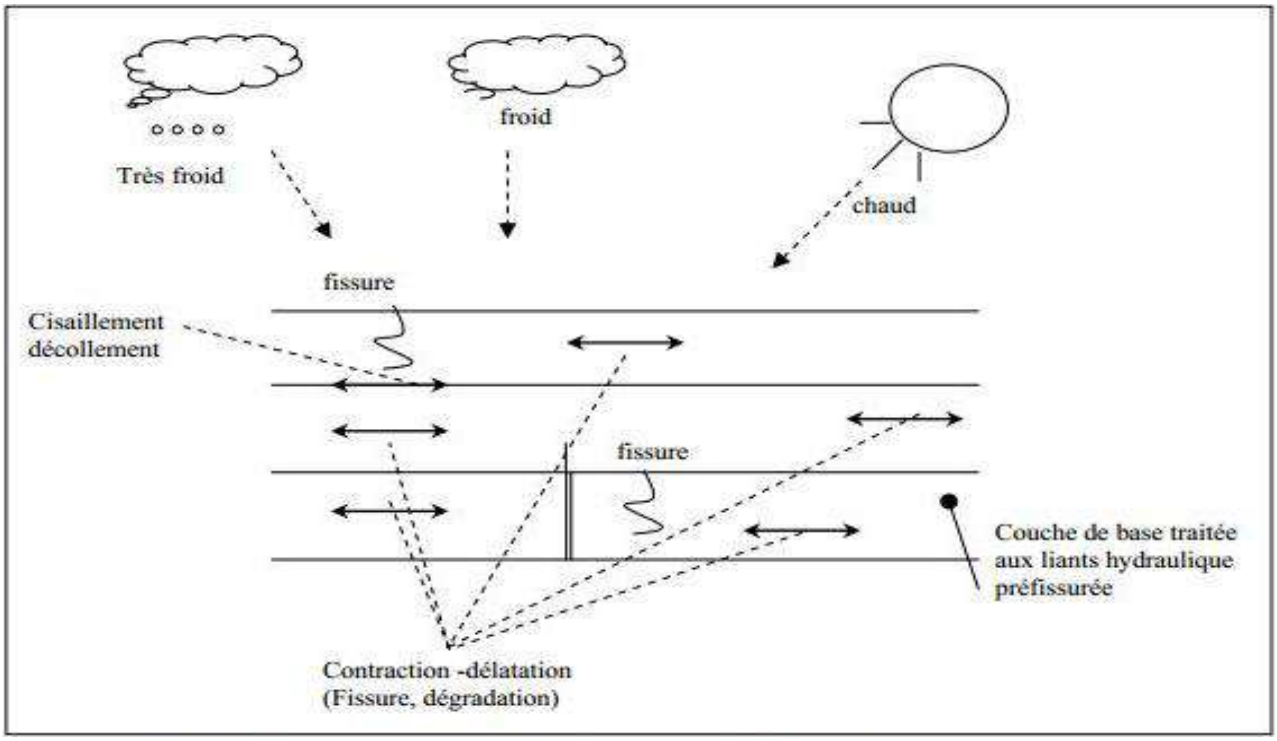


Fig I.8 : Schématisation des sollicitations induites par la température [22]

I.5. Comportements des enrobés bitumineux :

Quatre types de comportements ont été identifiés pour les enrobés bitumineux en considérant l'amplitude de déformation et le nombre de cycles de chargement appliqué. [23]

La figure ce dessous présente les différents domaines de comportement identifié pour les enrobés bitumineux.

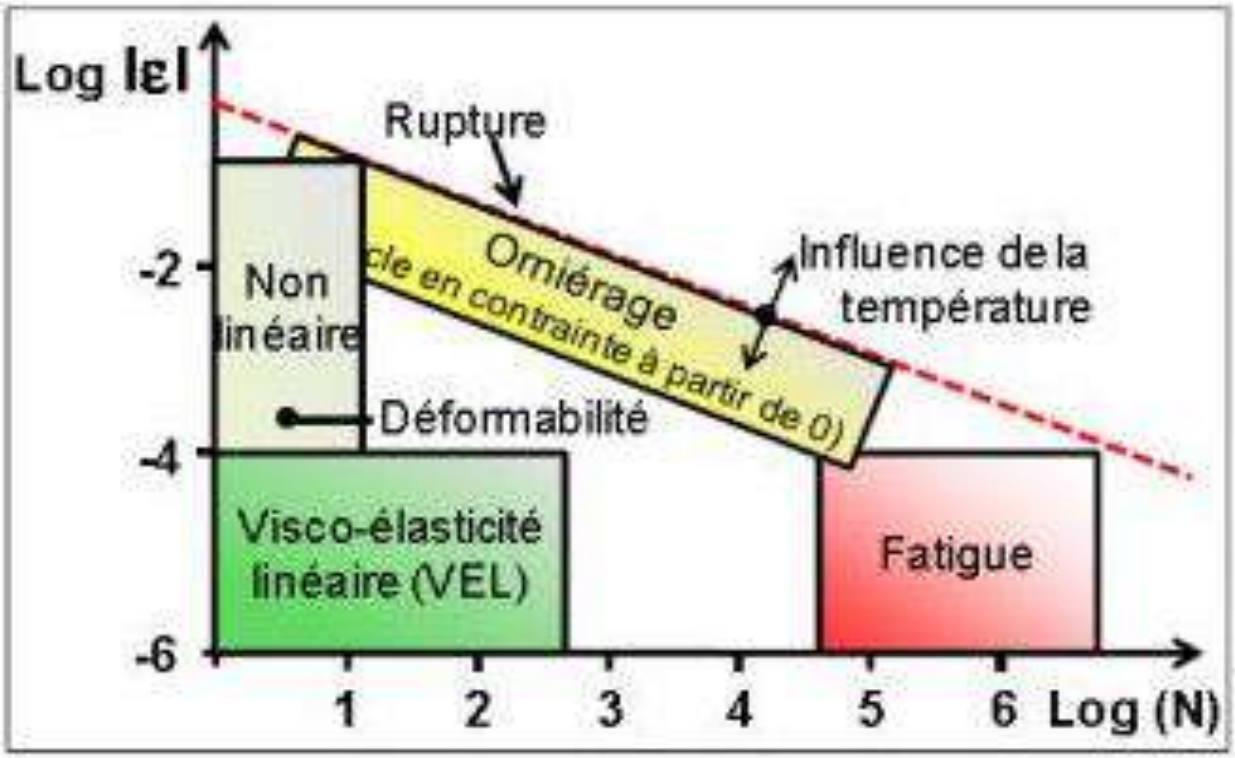


Fig I.9 : Comportements des enrobés bitumineux [24] adapté de [23]

Les quatre comportements sont :

- le comportement fortement non linéaire qui se produit pour un faible nombre de cycles de chargement et des déformations élevées (quelques pourcents) ;
- le comportement est considéré, en première approximation, viscoélastique linéaire pour des chargements comprenant quelques centaines de cycles et des déformations faibles ($<10^{-4}$) ;
- 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 ;
- l'orniérage qui est le quatrième type de comportement se produit suite à l'accumulation des déformations irréversibles sous un grand nombre de cycles de chargements à une température élevée ;

I.6. La modification des enrobés bitumineux :

L'obtention des enrobés bitumineux 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 :

- un pouvoir d'adhésion aux granulats.
- une consistance variable avec la température.

La modification des enrobés bitumineuse avec des polymères compatibles peut s'avérer bénéfique. La modification des enrobés peut-être réalisée par deux procédés (par voie sèche et par voie humide).

I.7. Teneur en liant optimale bitumineux :

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. [25]

suivante : $TL=\alpha k \sqrt[5]{\sum}$

Avec :

TL : teneur en liant (%) ;

α : facteur dépendant du type de granulats (2,65/masse volumique des granulats) ;

Σ : surface spécifique des granulats (m^2/kg) ;

k : module de richesse (k variant de 2,75 pour les enrobés donnant le maximum de résistance à la déformation, à 3,5 pour les enrobés les plus souples) ;

La surface spécifique du granulat est calculée par la formule. [28]

$$100\ \Sigma = 0{,}17\ G + 0{,}33g + 2{,}3\ S + 12s + 135f$$

Avec :

- G : pourcentage de gros gravillons (Ø > 11) ;
- g : pourcentage de petits gravillons (Ø > 6/11) ;
- S : pourcentage de gros sable (Ø > 0,3/6) ;
- s : pourcentage de sable fin (Ø > 0,08/0,3) ;
- f : pourcentage de filler (Ø < 0,08) ;

I.8. Essais sur les enrobes bitumineux :

Les propriétés 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. Le niveau d'étude de formulation dépend en général du type d'enrobé, du niveau de sollicitation de la chaussée et de l'importance du chantier.

La plupart des enrobés nécessitent au minimal une étude de deux niveaux exceptés les enrobés à module élevé oriente vers une étude de niveau 4. Les différents essais présentés ci-dessous permettent de vérifier les caractéristiques de l'enrobé formulé vis-à-vis des normes en vigueur.[26]

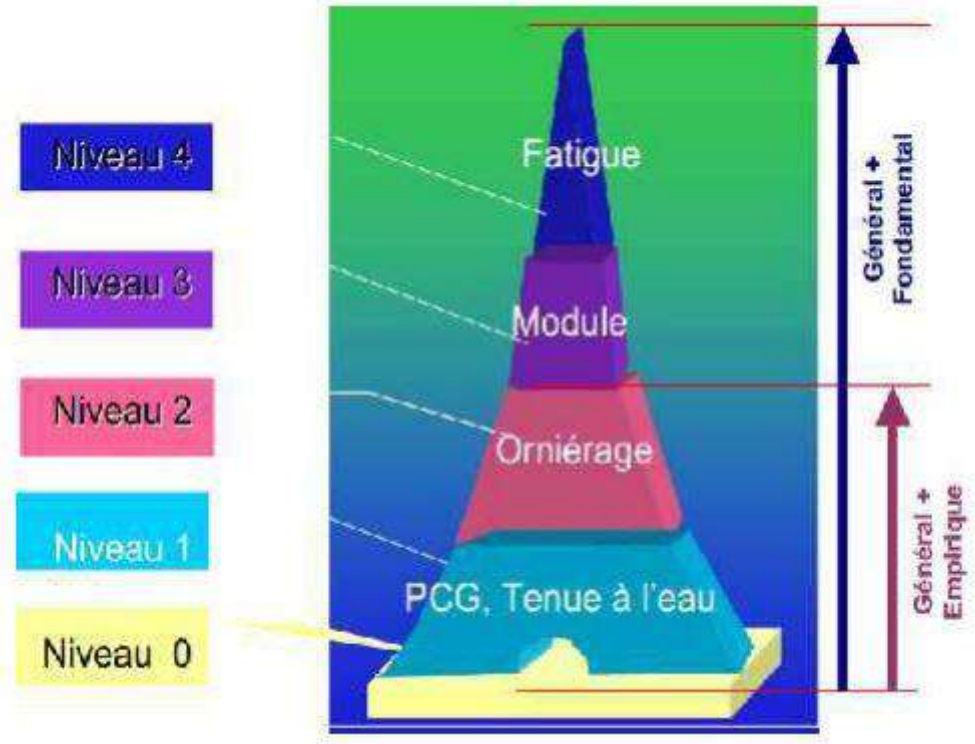


Fig I.10 : Niveaux de l'épreuve de formulation [26]

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 [25] :

Le niveau 0 (sans essais) correspond aux enrobés destinés aux zones non circulées. Les autres différents niveaux de l'épreuve varient du plus simple (niveau 1) au plus complet (niveau 4), les niveaux supérieurs englobant les exigences des niveaux inférieurs. La description du contenu de chaque niveau et les raisons de son choix font l'objet de l'importance du projet et la demande du maitre d'ouvrage.

I.8.1. Essai de la presse à cisaillement giratoire (PCG) (EN 12697-31) :

Le compactage des mélanges bitumineux est une opération importante en technologie routière, car elle assure la durabilité du revêtement et influence ses caractéristiques mécaniques et sa résistance aux agents physiques extérieurs. Au laboratoire, cependant, les méthodes de compactage les plus usuelles et les plus simples ne sont que de médiocres simulations de ce qui se passe en chantier. Le compactage par chocs suivant la méthode Marshall se fonde sur un principe différent du travail

effectue sur le chantier, les éprouvettes obtenues ont un squelette minéral, qui le plus souvent, se bloque en cours de compactage par arc-boutement des particules granulaires. [25]



Photo I.1 : Machine La Presse Cisaillement à Giratoire

I.8.1.1. Principe d'essai PCG :

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 100, 150 mm ou 160 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. Ces différentes actions exercent un compactage par pétrissage. On observe l'augmentation de compacité (diminution du pourcentage de vides) en fonction dénombre de giratoire. [25]

Pour mesure la compactibilité, un critère signifie la capabilité de compactage des matériaux, deux méthodes peuvent être utilisées. La première, au moins deux éprouvettes sont compactées à différents niveaux d'énergie de compactage avant le mesurage de leur masse volumique apparente. La seconde, une seule éprouvette est utilisée dont on détermine l'accroissement de masse volumique à chaque étape de compactage en fonction de la diminution d'épaisseur **(Figure I.11).**

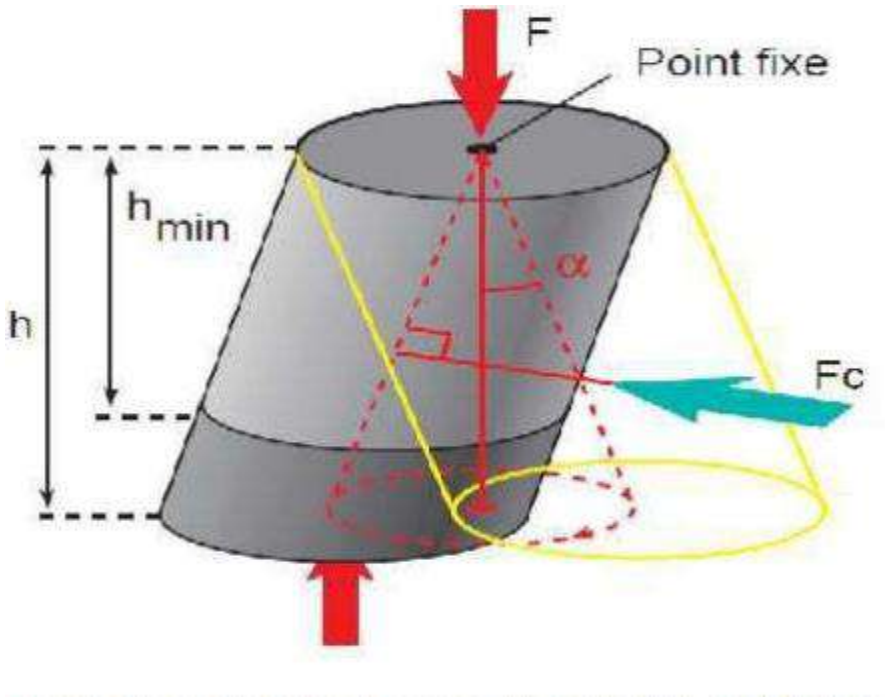


Fig I.11 : Principe de Cisaillement Giratoire [27]

- Hmin : hauteur minimale pour 0 % de vide ;
- H : hauteur apparente pour N girations ;
- F : force axiale ;
- Fc : force de cisaillement ;
- α : angle d'inclinaison ;

I.8.1.2. Réalisation d'essai PCG :

Les étapes de réalisation de l'essai PCG sont comme suite :

- Les matériaux sont préchauffés dans une étuve ainsi les accessoires de malaxage et le moule de compactage ;
- Le technicien place les granulats préchauffés dans la une boule ou un bac sur la balance ;
- Puis en ajout la masse de bitume chaud a le mélange (granulat sec chaud + bitume chaud) ;
- Un malaxage est effectué jusqu'à dis que les granulats sont bien enrobés de bitume.
- Le mélange confectionné à chaud est alors prêt à être compacté, puis technicien le verse dans le moule préchauffé ;
- L'appareille applique une pression de 0.6 MPa, et une inclinaison de 0.82 º de moule pour exercer compactage par pétrissage, au moment de chaque giration un nombre des mesures de hauteur sont effectuée ;

Tableau I.1 : Exemple des Spécifications relatives au pourcentage de vides

Type d'enrobés	Spécification PCG à 'n' giration		Spécification à 10 girations (%)
	Nombre de giration « n »	Pourcentage de vide (%)	
EB 10 – BBME	60	5 à 10	≥ 11
EB 14 – BBME	80	4 à 9	

I.8.2. Essai de sensibilité à l'eau à 18° C « Duriez » (EN 12697-12) :

La tenue à l'eau est habituellement mesurée au moyen de l'essai Duriez dans le cadre de la normalisation française. La normalisation européenne a retenu deux modalités d'essai, la compression diamétrale et la compression simple qui est dérivée de l'essai Duriez.

Ces deux modalités sont censées donner des résultats équivalents, cependant la respectabilité et la reproductibilité de l'essai en compression simple (Essai Duriez) sont pratiquement deux fois meilleures que celles de l'essai en compression diamétrale. [25]

I.8.2.1. Principe d'essai Duriez :

Les éprouvettes nécessaires à la réalisation de l'essai sont fabriquées par compactage statique à double effet. Les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression après conservation à 18 °C dans des caractérisée par le rapport des résistances avant ou après immersion **(Figure I.12)**.

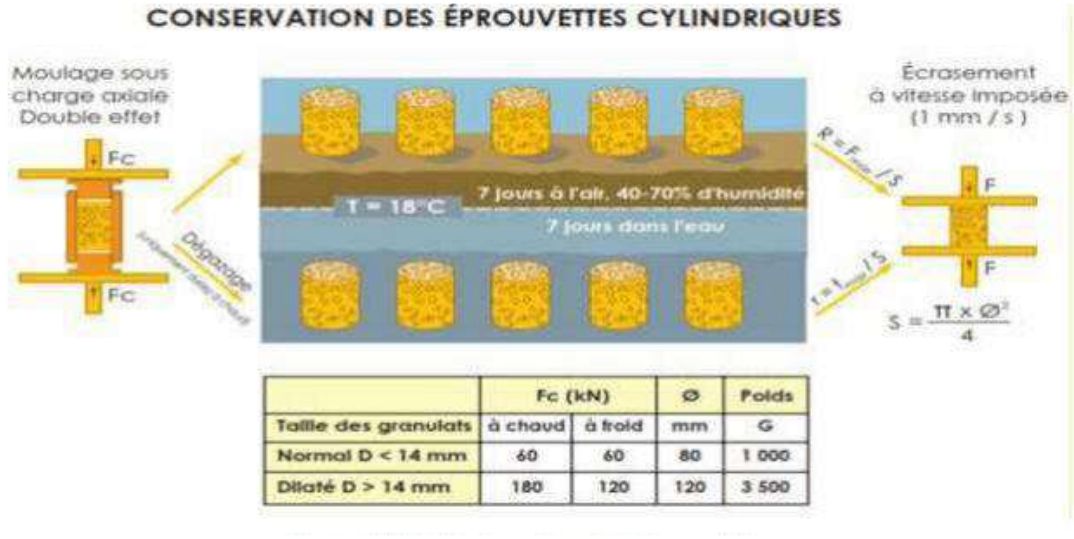


Fig I.12 : Principe d'essai La tenue à l'eau

I.8.2.2. Appareillage :

Les appareillages du l'essai duriez compose deux parties, l'un qu'est les moules et les piste ce derniers varie selon la granulométrie du mélange devra tester (Dmax) **(Photo I.2)**.

- 80 mm par D max <14 mm ;
- 120 mm par D max ≥ 14 mm ;



Photo I.2 : Moules et pistons

Une deuxième partie c'est la presse avec une vitesse de 1mm/s qui presse permettant le compactage à double effet **(photo I.3)**.



Photo I.3 :Machine de compression

I.8.2.3. Réalisation d'essai Duriez :

Le mélange hydrocarboné préparé en laboratoire, est placé, dans un moule cylindrique :

- 1 000 g ± 1 g dans le cas des mélanges hydrocarbonés de D <14 mm ;
- 3 500 g ± 3,5 g dans le cas des mélanges hydrocarbonés de D ≥ 14 mm ;

Le compactage des éprouvettes doit être réalisé par double effet :

- D'une charge de 60 KN pendant 5 min sur chaque éprouvette pour les mélanges hydrocarbonés de D< 14 mm ;
- D'une charge de 180 KN pendant 5 min sur chaque éprouvette pour les mélanges hydrocarbonés de D≥ 14 mm ;

Les échantillons d'essai doivent être placés après l'enlèvement du moule à 18 ° C pendant une période de 07 jours, de sorte que certains échantillons doivent être de l'eau (100 % humidité) tandis que d'autres doivent être des échantillons d'air (50% humidité) **(Photo I.4).**



Photo I.4: a) Compactage des éprouvettes ; b) Conservation des échantillon

- Extraire les échantillons après 07 jours et appliquer une force de compression à l'effondrement **(Photo I.5)** ;



Photo I.5 : Compression des éprouvettes

I.8.2.4. Expression des résultats tenue à l'eau :

Les résultats de l'essai sont la résistance à la compression simple à une température de 18 ºC, avec ou sans immersion, est le rapport de la charge maximale à la section circulaire des éprouvettes. Il est exprimé en méga pascals et représente la moyenne de quatre ou cinq mesures suivant la dimension D du mélange hydrocarboné soumis à l'essai.

On établit également le rapport de la résistance avec immersion (r) à la résistance sans immersion (R) ; le rapport **(r/R)** est exprimé avec deux chiffres.

I.8.3. Essai Marshall (EN 12697-34) :

L'essai Marshall est largement utilisé par les laboratoires Algériens, il permet d'avoir les caractéristiques suivantes :

- La stabilité qui est la résistance maximale à l'écrasement ;
- Le fluage qui est le raccourcissement du diamètre de l'éprouvette au moment de sa rupture ;

I.8.3.1. Principe de L'essai :

L'essai consiste à compacter des éprouvettes par damage selon un processus déterminé, puis les soumettre à un essai de compression (diamètre) suivant une génératrice dans des conditions définies.[28]

I.8.3.2. Appareillage :

- Au moins trois moules de compactage comportant chacun, une base, un corps de moule, Le diamètre intérieur du moule doit être de 101 .6mm ± 0.1mm ;
- Deux pistons extracteurs de diamètre légèrement inférieur au diamètre intérieur du moule ;
- Une dame de compactage comportant un marteau pesant 4536g ± 5g. Ce marteau coulis librement sur une tige de guidage et tombe en chute libre de 457 mm ± 5 mm sur la base de la dame ;
- Au moins trois mâchoires d'écrasement, chacune étant composée de deux demi mâchoires ayant un rayon de courbure intérieur compris entre 50.9mm et 51mm ;
- Un bain thermostatique pouvant contenir au moins trois éprouvettes et trois mâchoires d'écrasement ;



Photo I.6 : Un bain thermostatique



Photo I.7 : Une dame de compactage électrique

I.8.3.3. Le mode opératoire :

1. Sortir de l'étuve la cuve contenant le mélange granulaire et la poser sur la plaque chauffante ainsi que le bitume ;
2. Peser la quantité de bitume relative à chaque mélange ;
3. Malaxer le mélange granulaire pour homogénéiser pendant 30 secondes ;
4. Peser et verser la quantité du liant préconisée en actionnant le malaxeur pendant 2 à 5 minutes ;
5. Remplir le moule d'enrobé à raison de 1200g à 1g près ;
6. Compacter à la dame électrique à 55 coups par face ;
7. Démouler les éprouvettes et les laisser refroidir pendant 5 heures à une température ambiante ;
8. Numéroter les éprouvettes de 1 à 4 et la cinquième sera utilisé pour mesurer la densité apparente par pesée hydrostatique ;
9. Peser les éprouvettes à 1g près ;
10. Mesurer les dimensions des éprouvettes au 0.1mm prés en 4 zones différentes (en hauteur et 3en diamètre) ;
11. Préparer le bain marie à 60°C ± 1°C ;
12. Immerger les éprouvettes et les mâchoires d'écrasement dans l'eau à 60°C pendant 60 minutes ;
13. Sortir l'éprouvette du bain et la placer sur les mâchoires d'écrasement, l'ensemble est porté entre les plateaux de la presse réglée à une vitesse de 0.86mm/s ;
14. Procéder à l'écrasement et lire la valeur en KN correspond à la charge maximale de rupture ;
15. Mesurer la valeur de l'affaissement de l'éprouvette selon son diamètre vertical au moment de la rupture (fluage en 1/10) mm à l'aide du pied à coulisses ;

I.8.4. Essai module de rigidité (EN 121697 – 26) :

La mesure du module complexe, E, est réalisée pour des sollicitations sinusoïdales de fréquences variées, dans le domaine des petites déformations. Dans ces conditions l'enrobé se comporte principalement de façon viscoélastique linéaire, si bien que la réponse du matériau à la sollicitation sinusoïdale est sinusoïdale. [29]

I.8.4.1. Principe des essais modules :

Des corps d'épreuve d'une forme adaptée sont soumis à déformation dans le domaine linéaire, par des chargements Répétés ou à des vitesses de déformation contrôlées. Les amplitudes de contrainte et de déformation sont mesurées, simultanément avec le déphasage entre la contrainte et la déformation. [25]

I.8.4.2.Resultat :

Module de rigidité correspondant à une déformation horizontale de 5 µm.



Photo I.8 : Appareille essai de Module

I.9.Les polymère :

Les additifs ou les polymères généralement à base de pétrole ou les dériver de pétrole lourd sont destinés à améliorer les propriétés de l'enrobé (enrobé à module élevé).Ils est thermoplastiques constituent la famille d'agents modifiants chimiques la plus utilisée pour la modification.

Ils sont subdivisés en deux familles : les élastomères et les plastomères qui se distinguent, aux températures d'usage, par des comportements différents du point de vue, en particulier, de leur rigidité, de leur déformabilité et de leur résilience.

Pour les plastomères, la déformation élastique s'accompagne d'une déformation permanente qui peut être relativement importante.

Une liste des principaux agentes modifiants employés en technique routière classés par catégorie est donnée dans le tableau I.2:

Tableau I.2 : Principaux agents modifiants des bitumes

Polymères thermoplastiques élastomères	
SBS	Copolymèrestyrène-butadiène-styrène
SIS	Copolymèrestyrène-isoprène-styrène
SB	Styrène-butadiène
SBR	Copolymèrestatistiquestyrène-butadiène
Polymères thermoplastiques plastomères	
EVA	Copolymère éthylène-acétate de vinyle
EMA	Copolymère éthylène-acrylate de méthyle
EBA	Copolymère éthylène-acrylate de butyle
PIB	Polyisobutylène
Latex	
CR	Polychloroprène
SBR	Caoutchouc styrène-butadiène
NR	Caoutchouc naturel
NBR	Acrylonitrile butadiène rubber

D'autres additifs ont montré leur apport plus ou moins bénéfique sur le comportement rhéologique des bitumes, il s'agit en l'occurrence de la lignine, le noir de carbone, le souffre et la résine époxyde et les déchets plastique alimentaire ou industrielles.

Chapitre II :
Caractérisation des matériaux

Chapitre II: Caractérisation des matériaux

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

II.1. Essais d'identification des agrégats :

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 :

- Sable de classe 0/3 de la carrière TAMOULGHA (AIN DEFLA) ;
- Gravier de classe 3/8 de la carrière TAMOULGHA (AIN DEFLA) ;
- Gravier de classe 8/15 de la carrière TAMOULGHA (AIN DEFLA) ;

Afin de déterminer les caractéristiques intrinsèques des granulats, les essais suivants ont été réalisés :

- 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)** ;

Pour ce qui est des caractéristiques de fabrication des granulats, les essais suivants ont été réalisés :

- L'analyse granulométrique **(NF P 18-560)** ;
- L'essai d'aplatissement **(NF P 18-561)** ;
- L'équivalent de sable **(NF P 18-597)** ;

Les résultats d'analyses et essais effectués au laboratoire sont résumes dans les tableaux suivants :

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

Elle est déterminée par analyse granulométrique par tamisage, traduite par une courbe granulométrique (% de passants cumulés en ordonnée, et les dimensions de tamis en abscisse à échelle logarithmique).



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

- **Echantillon de sable 0/3 :**

- Prise d'essai (grammes) : 1000,00

Tableau II.1 : Analyse granulométrique de sable 0/3

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Tamisats (%)
25			
20			
16			
14			
12.5			
10			
8			
6.3	0		
5	1.50	0.15	99.85
4	21.80	2.18	97.82
2	352.60	35.26	64.74
1	582.20	58.22	41.78
0.4	743.00	74.30	25.70
0.315	769.90	76.99	23.01
0.2	811.80	81.18	18.82
0.1	842.90	84.29	15.71
0.08	848.80	84.88	15.12
0.063	854.3	85.43	14.57

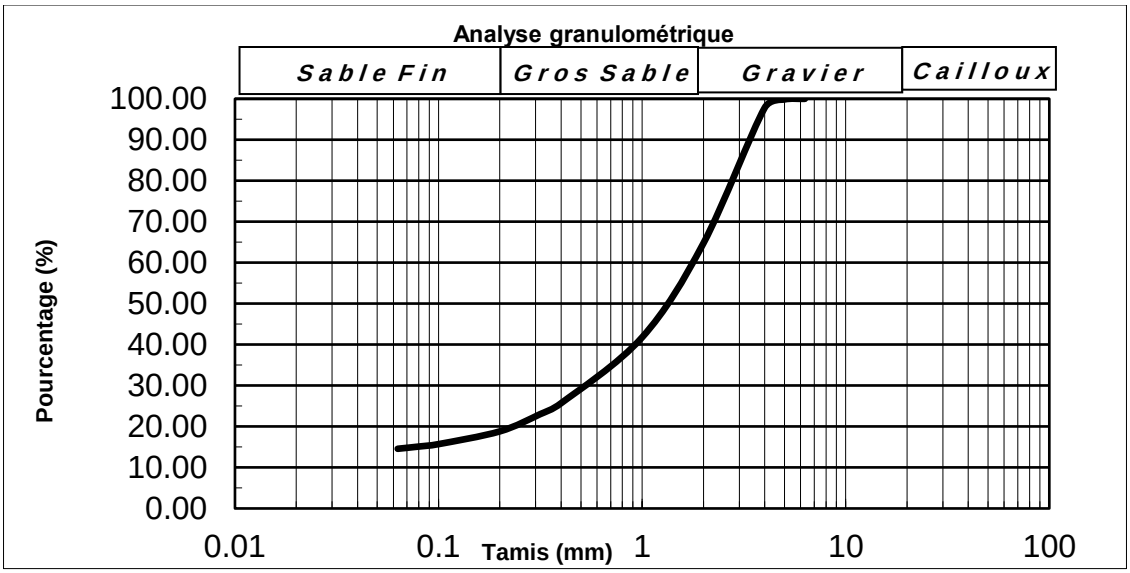


Fig II.1 : Courbe d'analyse granulométrique sable 0/3

- **Echantillon de gravier 3/8 :**

- Prise d'essai (grammes) : 2000,00

Tableau II.2 : Analyse granulométrique de gravier 3/8

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Tamisats (%)
31.5		0.00	100.00
25		0.00	100.00
20		0.00	100.00
16		0.00	100.00
14		0.00	100.00
12.5	0.00	0.00	100.00
10	35.00	1.75	98.25
8	245.00	12.25	87.75
6.3	815.00	40.75	59.25
5	1485.00	74.25	25.75
4	1775.00	88.75	11.25
2	1935.00	96.75	3.25
1	1955.00	97.75	2.25
0.4	1955.00	97.75	2.25
0.315	1955.00	97.75	2.25
0.2	1955.00	97.75	2.25
0.1	1955.00	97.75	2.25
0.08	1955.00	97.75	2.25

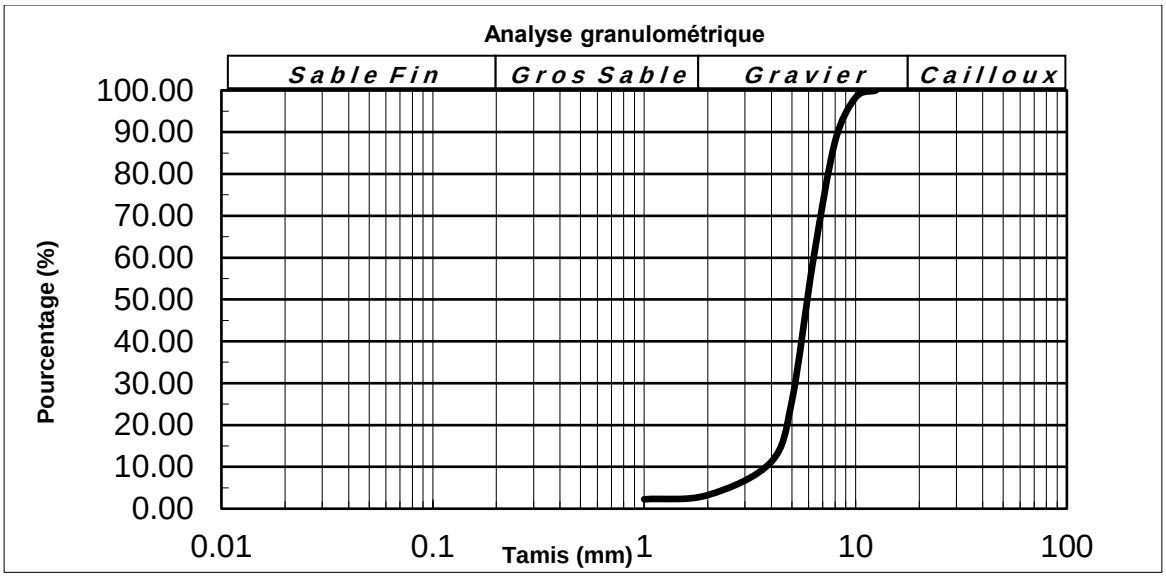


Fig II.2 : Courbe Analyse granulométrique Gravier 3/8

- **Echantillon de gravier 8/15 :**

- Prise d'essai (grammes): 3000,00

Tableau II.3 : Analyse granulométrique gravier 8/15

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Tamisats (%)
31.5			
25	0.00	0.00	100.00
20	0.00	0.00	100.00
16	215.00	7.17	92.83
14	515.00	17.17	82.83
12.5	925.00	30.83	69.17
10	1950.00	65.00	35.00
8	2670.00	89.00	11.00
6.3	2910.00	97.00	3.00
5	2960.00	98.67	1.33
4	2970.00	99.00	1.00
2	2970.00	99.00	1.00
1	2970.00	99.00	1.00
0.4	2970.00	99.00	1.00
0.315	2970.00	99.00	1.00
0.2	2970.00	99.00	1.00
0.1	2970.00	99.00	1.00
0.08	2970.00	99.00	1.00

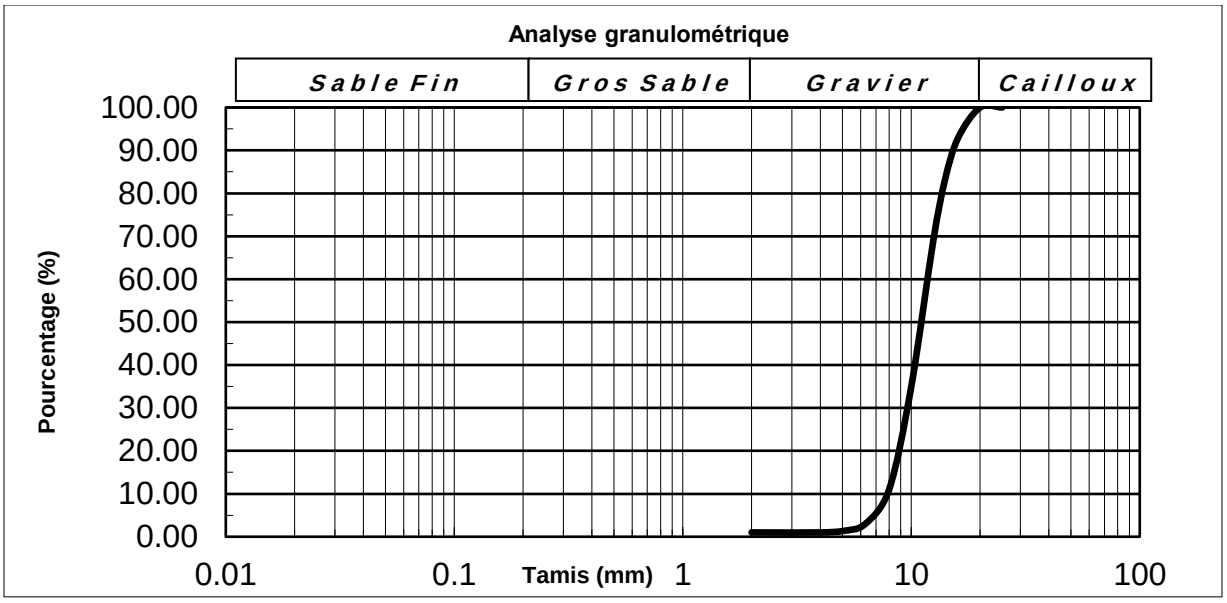


Fig II.3 : Courbe d'analyse granulométrique gravier 8/15

II.1.2. Coefficient d'aplatissement (NF P 18-561):

Plus les gravillons sont plats, moins leur mise en place dans la route ou dans les bétons est facile et plus ils sont fragiles. Il est donc important de contrôler le coefficient d'aplatissement des granulats. Ce coefficient permet de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats.

$$A = (M_e / M_g) \times 100$$



Photo II.2: Essai de coefficient d'aplatissement

- **Echantillon de gravier 3/8 :**

Tableau II.4 : Coefficient d'aplatissement gravier 3/8

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles	
Classegranulaire	M_g	Ecartement des grille	Passant M_e
d/D (mm)	(grs)	s (mm)	(grs)
31.5 - 40		20	
25 - 31.5		16	
20 - 25		12.5	
16 - 20		10	
12.5 - 16	0	8	0
10 - 12.5	5	6.3	0
8 - 10	130	5	30
6,3 - 8	480	4	140
5 - 6,3	670	3.15	225
4 - 5	380	2.5	130
$M = \sum M_g =$ 1712.57	1665	$\sum M_e =$ 463.95	525

Coefficient d'aplatissement est : **A=31.53 %**

- **Echantillon de gravier 8/15 :**

Tableau II.5: Coefficient d'aplatissement gravier 8/15

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles	
Classe granulaire	M_g	Ecartement des grille	Passant M_e
d/D (mm)	(grs)	s (mm)	(grs)
20 - 25	0	12.5	0
16 - 20	215	10	50
12.5 - 16	710	8	190
10 - 12.5	1025	6.3	225
8 - 10	720	5	175
6,3 - 8	240	4	70
5 - 6,3	50	3.15	15
4 - 5	10	2.5	0
$M = \sum M_g =$ 1712.57	2970	$\sum M_e =$ 463.95	725

Coefficient d'aplatissement est : **A=24.41%**

II.1.3. Essaie D'équivalent De Sable à 10% De Fines(NF P 18-597):

L'essai d'équivalent de sable à 10 % de fines, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 2 mm et dont la proportion des éléments passant au tamis à mailles carrées de 0,08 mm a été ramenée a 10 % a l'aide d'un sable correcteur (si cette teneur en fines est supérieure a 11 %). Il rend compte globalement de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floculent. La valeur de l'équivalent de sable à 10 % de fines (Ps) est le rapport, multiplie par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, 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 où on peut utiliser un piston comme la figure ci-dessous montre :

ES = 100. H2 / H1



Photo II.3 :Essai d'équivalent de sable à 10% des Fines

0.1	842.90	84.29	15.71
0.08	848.80	84.88	15.12
0.063	854.3	85.43	14.57

- Sable correcteur (0/3)=$120 - \frac{1200}{15.12}$=40.63g
- Sable 0/3=120-40.63=79.37g

Donc :

Tableau II.6 : Equivalent de sable

TUBE N°	Hauteur total	Hauteur H1 Sable visible	Hauteur H2 Piston	ES (%)
I	43	13.10	9.10	69.47%
II	43	13.40	9.00	67.16%
Moyenne				**68.31%**

II.1.4.Essai Los-Angeles(NF P 18-573):

L'essai LOS ANGELES est destiné à évaluer la résistance des granulats à la fragmentation et aux chocs. Pour tester la dureté d'un matériau, on le soumet à une épreuve de chocs dans un tambour.



Photo II.4 : Essai Los-Angeles

Les essais sont effectués sur la classe de référence 10 / 14 et les valeurs sont présentés dans le tableau suivant :

- **Echantillon de gravier 3/8, 8/15 :**

Tableau II.7 : Los Angeles 3/8 et 8/15

N° De L'échantillon	Nature De L'échantillon	Classe Granulaire	Nombre De boulets	Masse sèche M' après essai	Coefficient LA (%)
I	**3/8**	**4-6.3**	7	3772.00	24.56
II	**8/15**	**10-14**	11	3910.00	21.98

II.1.5. Essai Micro-Deval (NF P 18-572) :

Cet essai permet de déterminer l'usure d'une chaussée sous l'effet de frottements (pneus des véhicules). L'essai consiste à introduire des granulats dans le cylindre de la machine MDE, avec de l'eau et des billes de taille normalisée équivalente à celle des gravillons. Lors de la rotation du cylindre, les gravillons frottent sur les billes. La masse des éléments inférieurs à 1,6mm à la fin de l'essai donne la résistance à l'usure du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant à l'usure.



Photo II.5 : Essai Micro-Deval

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

- **Echantillon de gravier 3/8, 8/15 :**

Tableau II.8 : Micro-Deval 3/8, 8/15

N° De L'échantillon	Nature De L'échantillon	Classe Granulaire	Poids initial P du matériau	Poids P' Après usure	MDE (%)
I	GRAVIER 3/8	4-6.3	500	402.80	**19.44**
II	GRAVIER 8/15	10 - 14	500	397.7	**20.46**

II.1.6.Masse volumique absolue des agrégats(NF P 18-554):

La masse volumique absolue 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.



Photo II.6 : Essai masse volumique absolue

Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

- **Echantillon de sable 0/3 et le gravier 3/8, 8/15 :**

Tableau II.9 : Mases volumique de gravier 3/8 et 8/15

Classes	0/3	3/8	8/15
TEMPERATURE **(T)** EN °C	**25**	**25**	**25**
NATURE DU LIQUIDE (DENSITE) **E**	**1**	**1**	**1**

PICNOMETRE + LIQUIDE **P1**	**981.4**	**981.4**	**981.4**
POIDS DE L'ECHANTILLON **P2**	**500**	**500**	**500**
POIDS TOTAL **A = P1 + P2**	**1481.4**	**1481.4**	**1481.4**
PICNO + ECHANTILLON + LIQUIDE **B = A - P2**	**1292.8**	**1294.6**	**1294.1**
POIDS LIQUIDE COMPLEMENTAIRE **C = A - B**	**188.6**	**186.8**	**187.3**
VOLUME DE L'ECHANTILLON **D = C/E**	**188.6**	**186.8**	**187.3**
POIDS SPECIFIQUE Mv = P2 / D	**2.65**	**2.68**	**2.67**

II.1.7 Conclusion sur les granulats :

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

- L'analyse granulométrique sur les trois fractions présentent des granularités continues.
- Sable grossier et propre .
- 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.

II.2. Les essais réalisés sur le bitume :

Le liant hydrocarboné utilisé dans cette étude provient de l'unité de l'entreprise NAFTAL. On a procédé à la détermination de la classe du liant à partir des essais de caractérisation. 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 a 25°. Les résultats des essais d'analyse et de caractérisation qui ont été effectué sur le bitume pur, sont représentés dans les tableaux suivantes :

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

Cette méthode d'essai couvre la détermination de la densité et gravité spécifique dans les bitumes et liants bitumineux semi solides, à l'aide d'un pycnomètre.
Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II.10 : Densité relative de bitume

Essai	D1	D2	D3
Valeur	1.03	1.04	1.03
Moyenne	1.02		
spécification	1 à 1.10		

II.2.2. Essai de pénétrabilité aiguille (NF EN 1426) :

La pénétrabilité du bitume représente la mesure de la pénétration (exprimée 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.



Photo II.7 : Essai pénétrabilité aiguille

Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II.11 : Pénétrabilité de bitume

Essai	P1	P2	P3
Valeur	46	44	44
Moyenne	44		
spécification	40 à 50		

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

C'est la température à laquelle s'enfonce une bille à travers un anneau de bitume dans des conditions définies de fabrication et d'essai. Par voie de conséquence, il s'agit de la température à laquelle le bitume étudié atteint un certain degré de ramollissement.

Les résultats des deux essais empiriques précédents (Pénétrabilité à 25°C et Température Bille Anneau) permettent d'identifier le liant examiné et de le classer par rapport aux spécifications actuellement admises.



Photo II.8 : Essai de point de ramollissement

Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II.12 : Point de ramollissement de bitume

Essai	TBA1	TBA2	TBA3
Valeur	52	52	52
Moyenne	52		
spécification	47 à 60		

II.2.4. Essai de perte de masse au chauffage (NF EN 13303) :

La présente norme prescrit une méthode de détermination de la perte de masse des bitumes industriels après chauffage, On utilise cette méthode pour détecter des composants volatils.



Photo II.9 : Essai de perte de masse au chauffage

Les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II.13 : Perte de masse de bitume

Essai	**M1**	**M2**
Résultat	0.018	
spécification	<0.5	

II.2.5. Conclusion sur le bitume :

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

II.3. Le déchet plastique alimentaire :

Les déchets en matière plastique utilisés pour ce travail sont principalement constitués de polyéthylène à baisse densité, et sont obtenus à partir de sacs d'emballage de la pomme de terre. La préparation du déchet plastique est faite au laboratoire route de ETPRC. La procédure consiste à couper les sacs plastiques en petits morceaux de longueurs variant de 1 à 5 mm, La **(Photo II .10)** montre le déchet plastique alimentaire utilisé dans cette étude.



Photo II.10 : Le déchet plastique alimentaire

La densité du déchet plastique alimentaire est de 0,89 mesurée par rapport à l'éthanol dont la densité est de 0,79 et la température de fusion entre 180 C° et 190 C°.

II.4. Conclusion :

Les matériaux de qualité l'un des facteurs les plus importants qui assurent la durabilité des routes, qui est principalement liés aux caractéristiques de chaque matériau et qui nécessite l'approbation par rapport aux normes. Pour déterminer les propriétés et les caractéristiques d'un matériau il faut faire quelques essais par type de matériau, que ce soit en laboratoire ou sur le terrain et ensuite faire la comparaison des résultats obtenus par rapport aux valeurs recommandées par les normes, pour se prononcer sur la qualité de la construction.

Chapitre III : Dispositif expérimental et résultat des essais

Chapitre III : Dispositif expérimental et résultat des essais

Dans ce chapitre on présente le dispositif expérimental réalisé dans notre étude, ce qui résume les différentes étapes et les essais réalisés dans ce projet de recherche, ainsi que la présentation des résultats de chaque essai. 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 (désenrobage) et au fluage.

III.1. Etude de formulation :

III.1.1. Composition mélange :

Nous avons choisi d'étudier un béton bitumineux de référence (BBSG) et béton bitumineux modifiés de classe granulaire BB 0/14 mm faisant partie de la gamme de des béton bitumineux définis par la norme **EN 13108-1**. Il s'agit d'un mélange composé des trois classes granulaires : 0/3, 3/8 et 8/15. A partir des courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies pour la réalisation de l'étude de formulation, on compose un mélange dont la courbe granulométrique est inscrite dans les limites du fuseau défini par les spécifications.

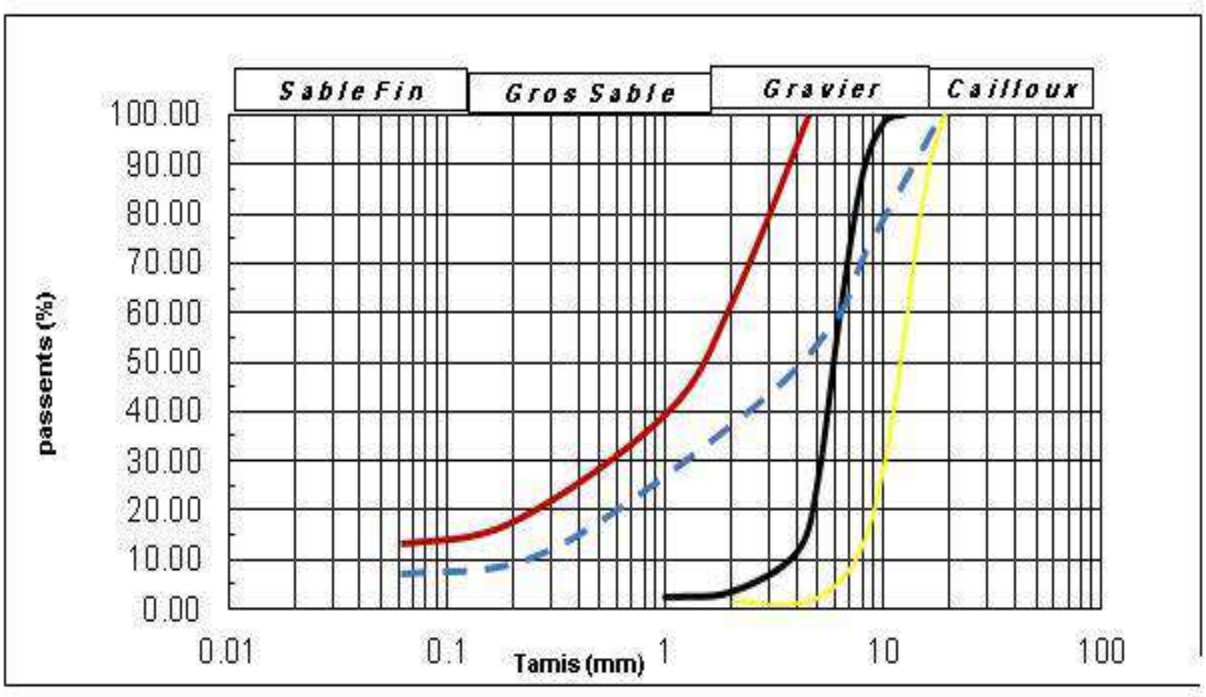


Fig III.1 : Disposition des courbes granulométriques des constituants par rapport la courbe médiane de fuseau

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 suivante présente la composition granulaire proposés dans ce projet d'étude.

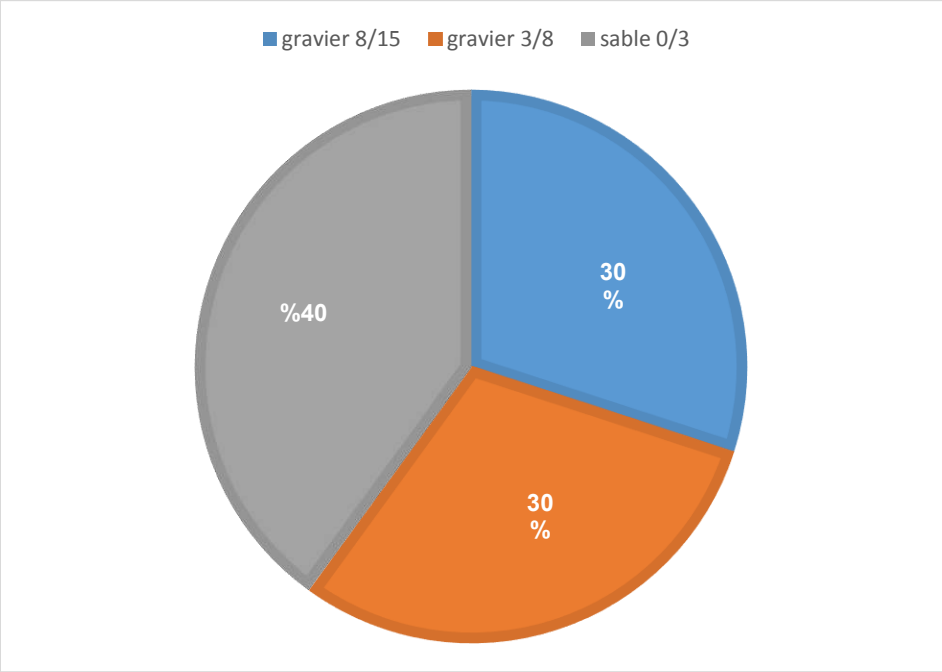


Fig III.2 : La composition proposée

Les pourcentages obtenus sont déterminés d'après la courbe granulométrique de chaque agrégat en tenant compte du fuseau de référence 0/14, tableau et la courbe mélange est présentée ce dessous :

Tableau III.1 : Mélange granulaire

Tamis(mm)	Gravier 8/15		Gravier 3/8		Sable 0/3		Mélange 100%	Fuseau Min (%)	Fuseau Max (%)
	100%	30%	100%	30%	100%	40%			
31.5	100	30	100.00	30	100	40	100		
25	100	30	100.00	30	100	40	100		
20	100	30	100.00	30	100	40	100		
16	92.83	27.85	100.00	30	100	40	97.85		
14	82.83	24.85	100.00	30	100	40	94.85	94	100
12.5	69.17	20.75	100.00	30	100	40	90.75		
10	35	10.50	98.25	29.48	100	40	79.98	72	80
8	11	3.3	87.75	26.33	100	40	69.63		
6.3	3	0.9	59.25	17.78	100	40	58.68	50	66
5	1.33	0.4	25.75	7.73	99.85	39.94	48.06		
4	1.00	0.3	11.25	3.38	97.82	39.13	42.8		
2	1	0.3	3.25	0.98	64.74	25.9	27.17	28	40
1	1	0.3	2.25	0.68	41.78	16.71	17.69		
0.4	1	0.3	2.25	0.68	25.70	10.25	11.22		
0.315	1	0.3	2.25	0.68	23.01	9.20	10.18		
0.2	1	0.3	2.25	0.68	18.82	7.53	8.5		
0.1	1	0.3	2.25	0.68	15.71	6.28	7.26		
0.08	1	0.3	2.25	0.68	15.12	6.05	7.02	7	10

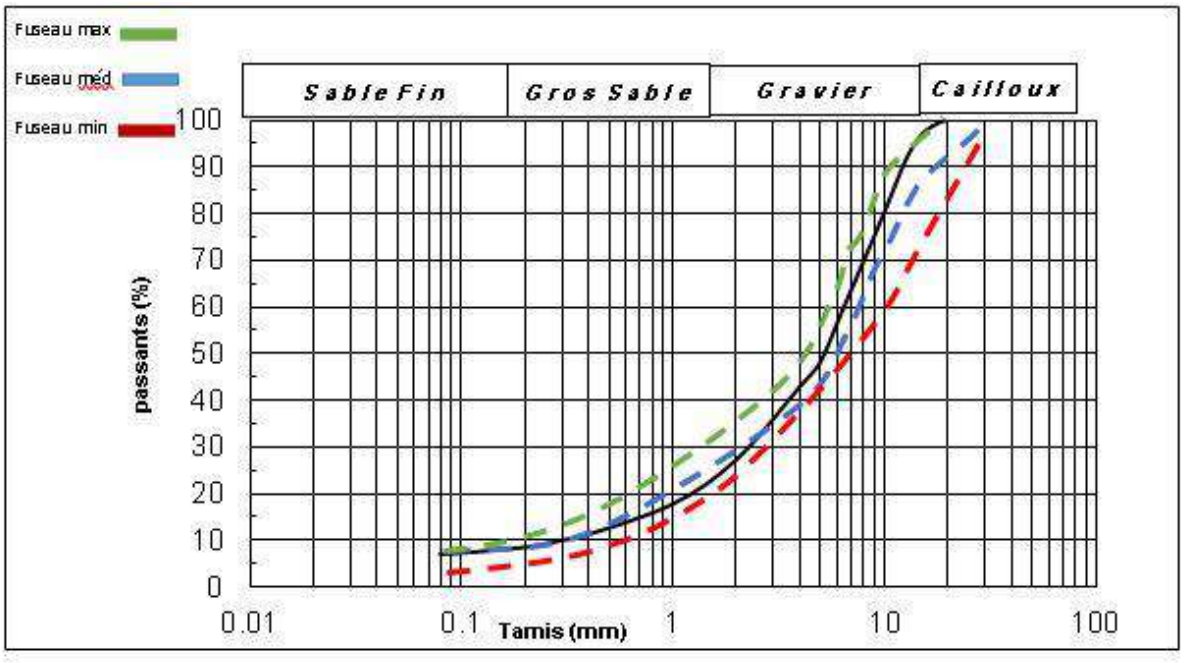


Fig III.3 : Courbe de mélange granulaire s'insère au fuseau de référence BB 0/14

On remarque que la courbe granulométrique s'insère bien dans le fuseau de référence préconisé en Algérie pour les bétons bitumineux semi - grenus 0/14.

III.1.2. Teneur en liant :

La teneur en liant pour un béton bitumineux semi-grenu 0/14 est déterminer en pourcentage du poids des agrégats par la méthode basée sur le module de richesse et la surface spécifique. [30]

- Calcul de Coefficient Correcteur α :

$\alpha = 2{,}65 / MVRg$ avec $MVRg = \frac{100}{\frac{40}{2.65}+\frac{30}{2.67}+\frac{30}{2.68}} = 2.665$ donc : $\alpha = 2{,}65 / 2.665 = 0.997$

- Calcul la Surface Spécifique des Agrégats ∑ :

$\Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f = 0.25\ (41.32\%) + 2.3\ (48.5\%) + 12\ (3.16\%) + 13.5\ (7.02\%) = 2.5457\ m^2/kg$

- Calcul le Teneur en liant :

le module de richesse Alors K=3.468.

$TL = \alpha K \sqrt[5]{\sum} = 0.997 \times 3.468 \times \sqrt[5]{2.5457} = 5.60\%$

L'étude de formulation des bétons bitumineux a donné les résultats qui sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III. 2 : composition de la formule utilisée

Fraction granulaire	0/3	3/8	8/15
% du mélange	40	30	30
Teneur en liant (%)	5.60		

III.1.3. Pourcentage de déchet plastique alimentaire :

Les pourcentages de déchet proposé pour l'enrobé bitumineux modifié sont (1%,3% et 5%) et 0% pour référence par rapport poids de teneur en liant (bitume) et le poids de mélange granulaire totale est 15 Kg. Donc en calcul poids de teneur en liant :

- Poids de teneur en liant =5.6(%) x15(kg)=840g

Les valeurs sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Pourcentage et poids de déchet plastique alimentaire

Pourcentage de déchet	1%	3%	5%
Le poids de déchet (g)	8.4	25.2	42

III.1.4. Malaxage au laboratoire :

On a préparé le mélange par un malaxeur a chauds, les agrégats ont 220 C° et le bitume à 180 C°. La composition du mélange est donnée par le tableau suivant :

Tableau III.4 : Composition du mélange

Choix d'enrobé bitumineux	Béton bitumineux de reference	Béton bitumineux modifié
Gravier 8/15	30% et en poids 4500 g	30% et en poids 4500 g
Gravier 3/8	30% et en poids 4500 g	30% et en poids 4500 g
Sable 0/3	40% et en poids 6000g	40% et en poids 6000g
Bitume 40/50	5.6% et en poids 840 g	5.6% et en poids 840 g
Déchet de plastique	0%	(Tableau III.3)



Photo III.1 : Les étapes de malaxage le mélange



Photo III.2 : Mélange final pour tous les pourcentages de déchet plastique alimentaire

III.2. Expérience en laboratoire et résultat des essais :

III.2.1. Essai de presse à cisaillement giratoire (PCG) (EN 12697-31) :

Au but de réaliser l'essai, On verse le mélange béton bitumineux dans des moules préchauffé avec un poids déterminé. [31]

Les conditions d'essai sont :

- Diamètre du moule : 100.00 mm ;
- Masse de l'éprouvette : 1.911 kg ;
- Méthode de compactage : Nb girations visé (200) ;
- Vitesse : 30 rév/min ;

- Angle: 0.820 Deg C ;
- La charge : 600 kPa ;
- H min: 100.0 mm ;



Photo III.3 : Essai de presse à cisaillement giratoire

Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats de l'essai de presse cisaillement giratoire :

Tableau III.5 : Résultats de l'essai PCG

Choix d'enrobé bitumineux	**Béton bitumineux de reference**		**Béton bitumineux modifié**						**Specifications (classe 0/14)**
Pourcentage de déchet	**0%**		**1%**		**3%**		**5%**		
Girations	**Pourcentage de vides %**		**Pourcentage de vides %**		**Pourcentage de vides %**		**Pourcentage de vides %**		
	Ep01	**Ep 02**	**Ep01**	**Ep 02**	**Ep01**	**Ep02**	**Ep 01**	**Ep02**	
5	20.498	21.936	17.238	17.458	21.123	19.301	16.438	16.796	
10	17.238	18.411	14.083	14.083	17.829	16.007	13.266	13.580	**>11%**
15	15.161	16.257	11.991	11.914	15.917	13.938	11.184	11.513	
20	13.651	14.693	10.467	10.339	14.507	12.461	9.661	9.976	
25	12.461	13.436	9.266	9.108	13.365	11.287	8.465	8.761	
30	11.463	12.412	8.224	8.086	12.485	10.339	7.458	7.785	
40	9.898	10.881	6.625	6.510	11.184	8.867	5.889	6.286	
50	8.681	9.687	5.371	5.342	10.262	7.758	4.735	5.199	
60	7.731	8.788	4.470	4.382	9.479	6.874	3.762	4.324	
80	6.370	7.400	3.131	3.071	8.438	5.659	2.585	3.071	**4% à 9%**

Ci-dessous les courbes de l'évolution de la compacité en fonction du nombre de girations pour chaque Pourcentage de déchet :

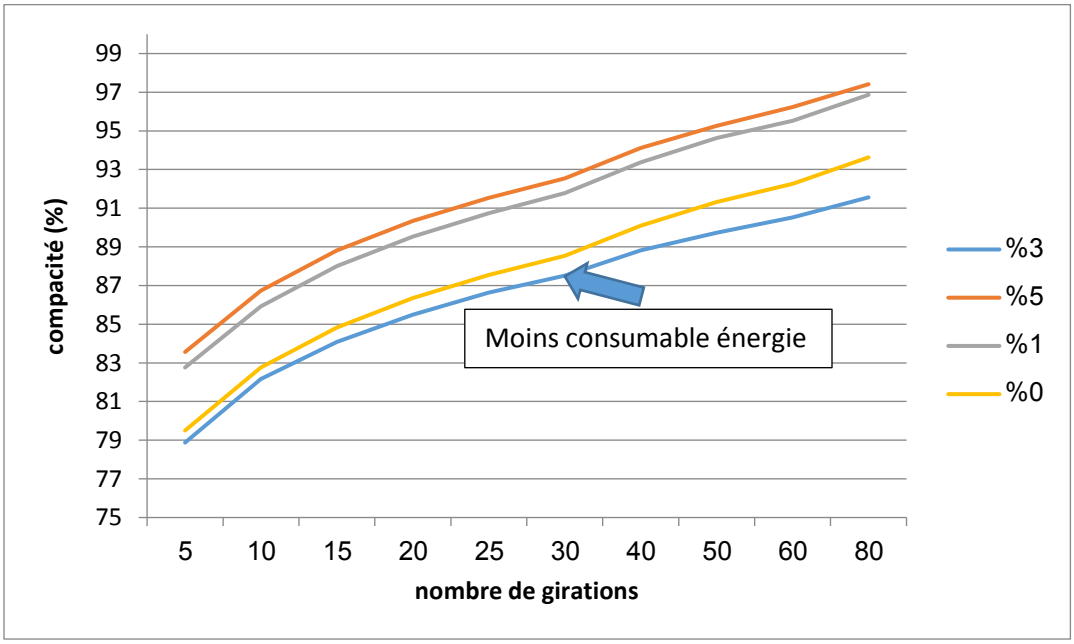


Fig III.4 : L'évolution de compacité des mélanges bitumineux en fonction de nombre de girations

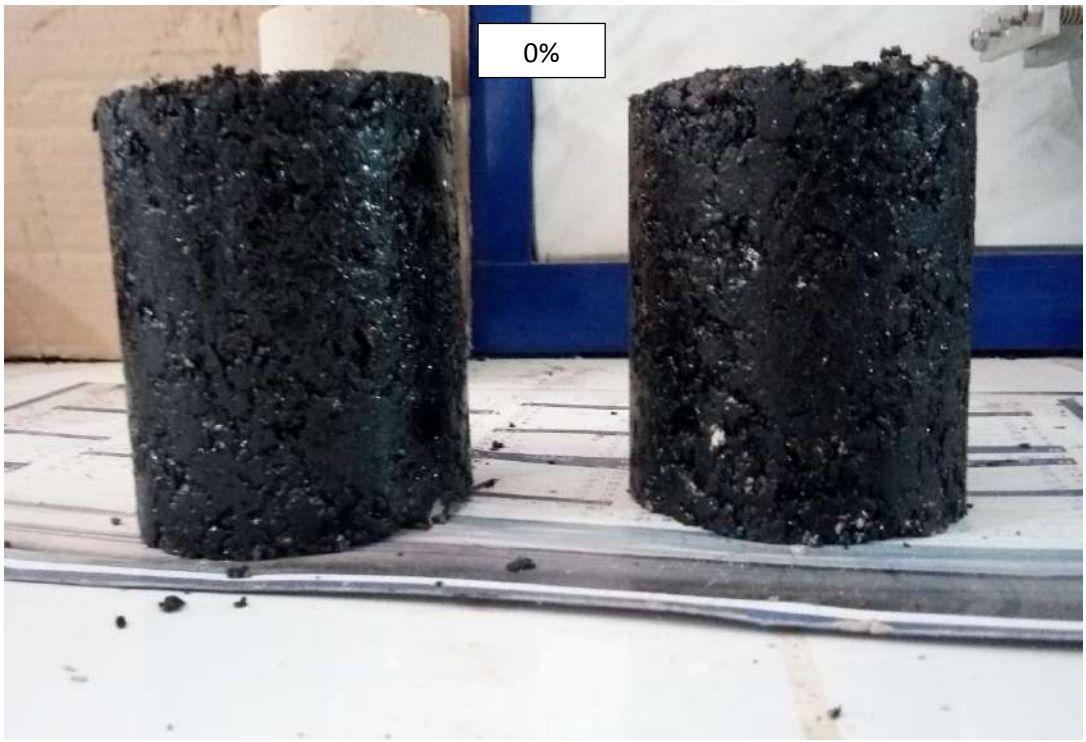


Photo III.4 : Les éprouvettes de béton bitumineux de référence après l'essai PCG

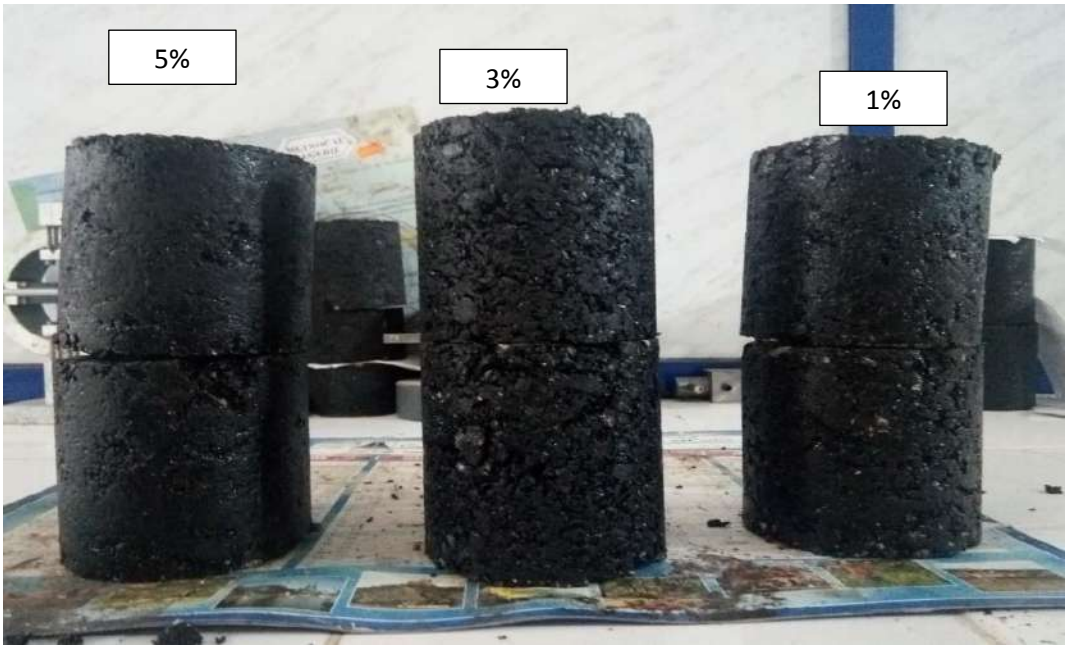


Photo III.5 : Les éprouvettes des mélanges de béton bitumineux modifiés après l'essai PCG

III.2.1.1. Interprétation des résultats de l'essai PCG :

L'analyse des courbes de l'évolution de la compacité des mélanges des bétons bitumineux étudié en fonction de nombre de giration montre que :

- Le béton bitumineux de référence **0% et** le mélange des béton bitumineux modifié de **3%** de déchet plastique répond aux spécifications de la norme **(EN 12697-31)** qui prendre le nombre de giration **80** de **BB** de classe granulaire **0/14** comme référence, et les deux autres mélanges de **1** et **5%** ne sont pas répond aux spécifications **(Tableau III.5)**.
- Le mélange **BB modifie 3%** de déchet présente l'évolution la plus faible, et le mélange **BB modifie 5%** de déchet présente l'évolution la plus élevée, ce dernier revient au phénomène de lubrification de mélange, ce qui offre aux squelettes granulaires une maniabilité, donc ils peuvent diminuer plus de vide entre eux.
- On note aussi que les courbes des mélanges **BB modifie 5 %** et **1%** de déchet plastique sont les plus proches à la compacité 100 % tandis que les mélanges **BB de référence 0%** et **BB modifie 3%** de déchet plastique ont données des compacités moins **(Figure III.4)**.
- Les mélanges **BB de référence et BB modifie de 3%** de déchet plastique nécessitent moins d'énergie de compactage pour avoir des compacités acceptables.

III.2.2. Essai Marshall (EN 12697-34) :

L'essai Marshall permet de déterminer la « stabilité » et le « fluage » Marshall d'une éprouvette cylindrique soumise à une compression exercée suivant sa génératrice et ce, pour un compactage énergétique donné (55 coups de marteau appliqués en 55 secondes environ sur chaque face de l'éprouvette).
Cette compression est appliquée sur l'éprouvette à une vitesse de 50 mm/min après une heure d'immersion à 60°C sur bain marie.
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).
- Le quotient Marshall noté « QM » est un indicateur pour la résistance aux déformations permanentes, contraintes de cisaillement et aussi pour l'orniérage des enrobés bitumineux. Les plus grandes valeurs du quotient indiquent que les mélanges sont plus résistants aux déformations permanentes.

On verse le mélange dans des moules avec un poids déterminé 1200g après compacté 55 coups à deux faces.



Photo III.6 : préparation des éprouvettes avec compactage



Photo III.7: Les éprouvettes de béton bitumineux de référence mettre à l'intérieur de bain marie

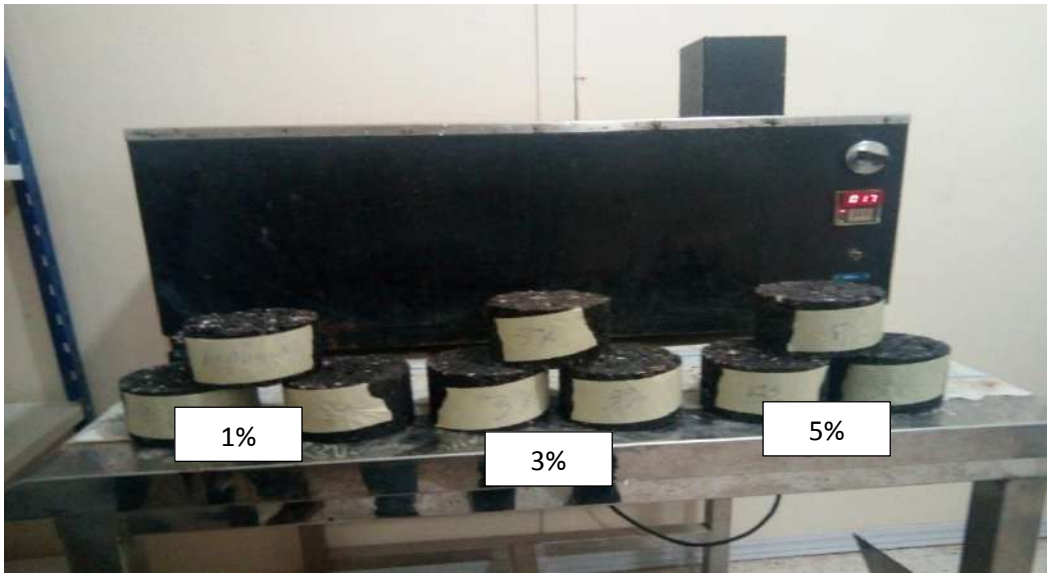


Photo III.8 : Les éprouvettes des mélanges des bétons bitumineux modifiés mettre à l'intérieur de bain marie

III.2.2.1 Caractéristiques de l'éprouvette :

On a faite la mesure de poids et la hauteur des tous les éprouvettes des mélanges des bétons bitumineux étudié.





Photo III.9 : mesure le poids et hauteur de chaque éprouvette

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

Tableau III.6 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux de référence

Béton bitumineux de référence				
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**moyenne**
La masse d'éprouvette (g)	1104.7	1118.5	1109.3	1110.8
La hauteur d'éprouvette (mm)	61	59	62	60.66

Tableau III.7 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux modifies

Béton bitumineux modifies												
Pourcentage de déchet	**1%**				**3%**				**5%**			
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**Moy**	**1**	**2**	**3**	**moy**	**1**	**2**	**3**	**moy**
La masse d'éprouvette (g)	1162.3	1126.5	1164.6	1151.1	1224.7	1208.1	1215.7	1216.6	1203.7	1206.3	1207.8	1205.9
La hauteur d'éprouvette (mm)	63	58	63	61.3	66	64	64	64.66	64	62	64	63.33

III.2.2.2. Expression des résultats :



Photo III.10 : Presse Marshall pour calcul charge maximale (stabilité Marshall)

Le tableau ci-dessous résume les résultats de stabilité, fluage et les quotients Marshall :

Tableau III.8 : Résultats d'essai Marshall l'éprouvette Béton bitumineux de référence

Béton bitumineux de référence				
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**moyenne**
Stabilité marshall (KN)	10.42	12.80	18.03	13.75
Fluage marshall(mm)	2.5	3	3.5	3
Quotient marshall(KN/mm)	4.16	4.26	5.15	4.52

Tableau III.9 : Résultats d'essai Marshall l'éprouvette Béton bitumineux modifies

Béton bitumineux modifies												
Pourcentage de déchet	**1%**				**3%**				**5%**			
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**moy**	**1**	**2**	**3**	**moy**	**1**	**2**	**3**	**moy**
Stabilité marshall (KN)	14.19	14.06	21.95	16.73	22.23	23.08	25.53	23.61	21.99	18.96	29.66	23.53
Fluage marshall(mm)	3.0	2.0	2.0	2.33	3.0	2.0	1.0	1.66	2.0	3.0	1.0	2
Quotient marshall(KN/mm)	4.73	7.03	10.97	7.57	7.41	11.54	25.53	14.82	10.99	6.32	29.66	7.87

Les figures III.5, III.6 et III.7 montrent les résultats de la stabilité, du fluage et Quotient Marshall

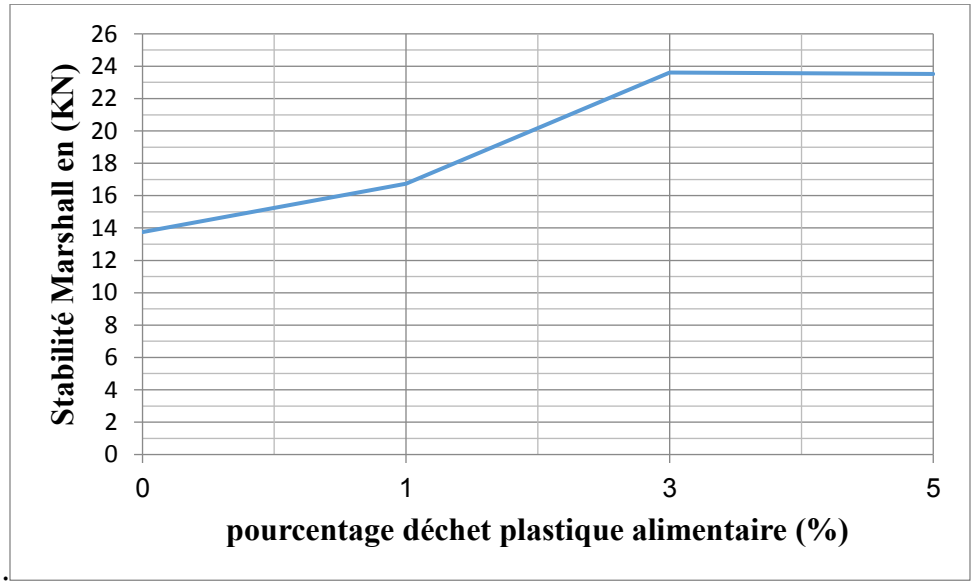


Fig III.5 : Stabilité Marshall en fonction de pourcentage de déchet plastique alimentaire

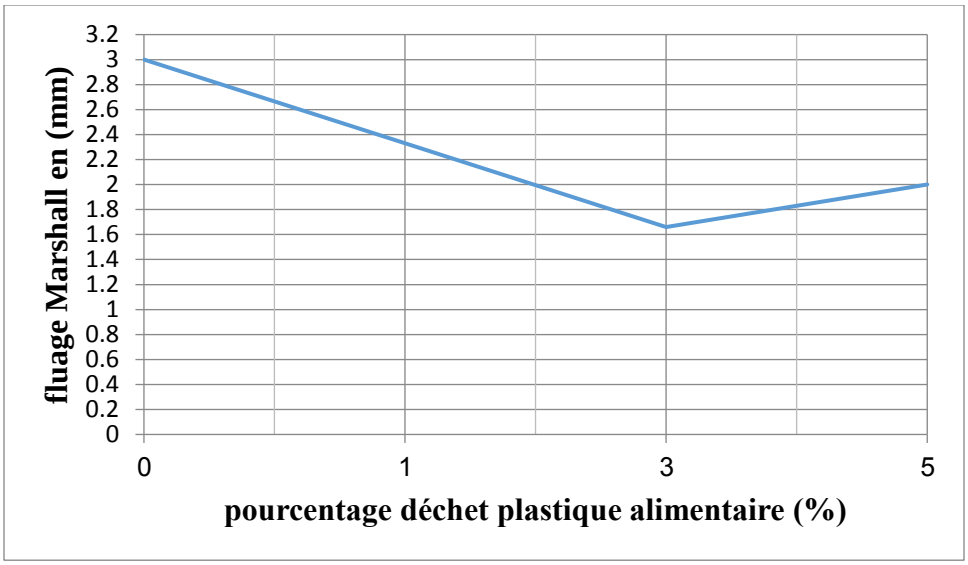


Fig III.6: Fluage Marshall en fonction de pourcentage de déchet plastique alimentaire

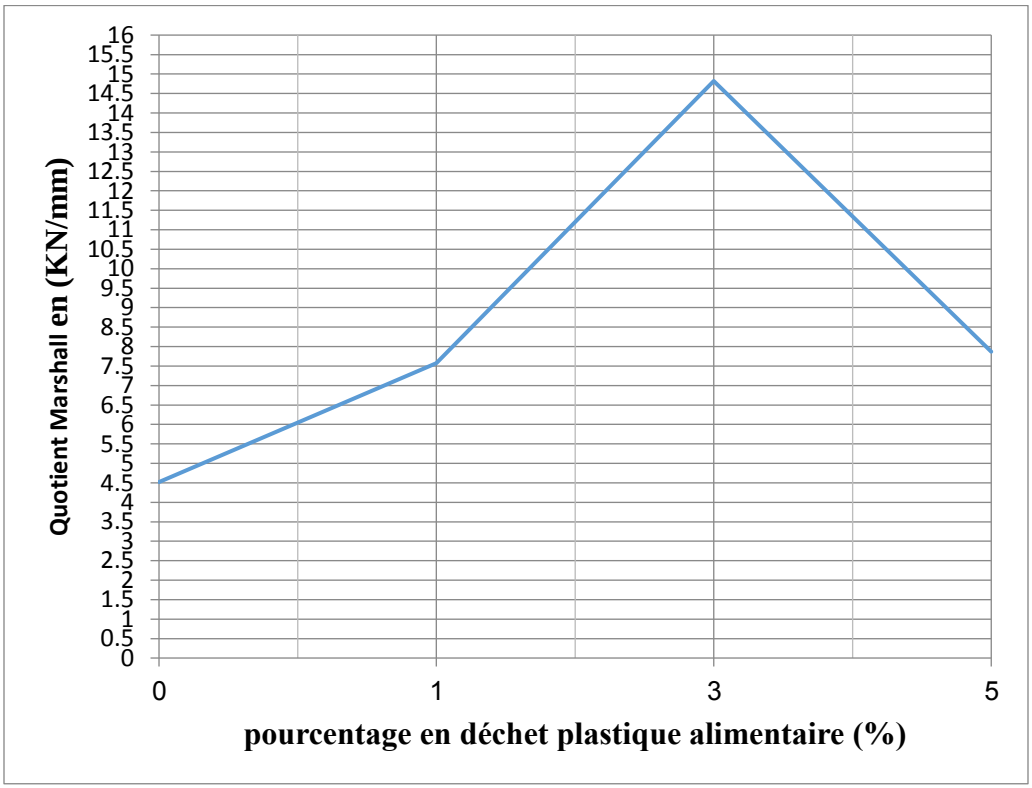


Fig III.7: Quotient Marshall en fonction de pourcentage de déchet plastique alimentaire

Les éprouvettes des mélanges de bétons bitumineux modifiés et de béton bitumineux de référence après passage à la presse Marshall sont illustrées dans les figures suivantes :



Photo III.11: Eprouvettes de béton bitumineux de référence après passage à la presse Marshall



Photo III.12: Eprouvettes des mélanges de bétons bitumineux modifiés après passage à la presse Marshall

III.2.2.3. Interprétation des résultats :

L'analyse des courbes de stabilité, fluage et quotient Marshall des mélanges des bétons bitumineux étudié en fonction de pourcentage de déchet plastique montre que :

- La stabilité et le fluage Marshall de tous les mélanges répond aux spécifications de la norme **EN 12697-34**.

- Le déchet plastique dans le mélange influe positivement sur la stabilité Marshall. Cette stabilité est maximale pour **BB modifie 3%** de déchet plastique.
- **BB modifie 3%** de déchet plastique donne le moins valeur de fluage et plus grande valeur de stabilité Marshall. Alors **BB modifie** de 3% de déchet plastique c'est l'optimum par rapport les autres mélanges étudiés.
- La courbe de quotient Marshall passe par un maximum à 3%. Qui globalement les mélanges modifiés améliorent la résistance à la déformation permanente par rapport à l'enrobé de référence. Cette amélioration est obtenue à 3%.
- Les variations des quotients Marshall des enrobés bitumineux modifiés par le déchet plastique par rapport à l'enrobé bitumineux de référence sont généralement considérable. Le gain est de l'ordre de 70% pour les enrobés bitumineux modifiés à 3% de déchet plastique et de 40% pour le mélange de 1% de déchet et de 44% pour le mélange de 5% de déchet plastique. [32]

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

Cet essai permet de quantifier 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 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, ont séparé 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 3 les autres conservés 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 dans une presse hydraulique commandée par un PC à une vitesse 50.00 mm/min.

III.2.3.1 Caractéristiques de l'éprouvette :



Photo III.13: Compacter les éprouvettes par la presse hydraulique



Photo III.14: démoulage les éprouvettes par la presse hydraulique



Photo III.15: conservation les éprouvettes dans l'eau et l'air pendant 7 jour

Les tableaux ci-dessous résume résultats :

Tableau III.10 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux de référence

	Sec (a l'air)			Immergée (a l'eau)		
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Masse (g)	1001.4	1002.7	999.8	1002.3	1001.7	998.2
Epaisseur(mm)	91	91	94	92	90	91
MVa(g/cm³)	2.18	2.19	2.11	2.16	2.21	2.18

Tableau III.11 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (1% de déchet plastique)

	Sec (a l'air)			Immergée (a l'eau)		
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Masse (g)	1019.6	1018.9	1021.1	1017.2	1009.3	1012.5
Epaisseur(mm)	87	86	87	85	87	88
MVa(g/cm³)	2.33	2.35	2.33	2.38	2.30	2.28

Tableau III.12 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (3% de déchet plastique)

	Sec (a l'air)			Immergée (a l'eau)		
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Masse (g)	1009.3	1015.5	1013.8	1001	980.6	1002.6
Epaisseur(mm)	87	85	87	87	87	86
MVa(g/cm³)	2.30	2.37	2.31	2.28	2.24	2.31

Tableau III.13 : Résultats de caractéristiques de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (5% de déchet plastique)

	Sec (a l'air)			Immergée (a l'eau)		
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Masse (g)	1011.7	1017.5	1016.8	977.3	1007.5	1009.7
Epaisseur(mm)	88	87	86	85	86	86
MVa(g/cm³)	2.26	2.32	2.35	2.28	2.33	2.33

III.2.3.2. Expression des résultats :

Après l'écrasement définit la résistance de compression comme le rapport entre la charge d'écrasement maximal et la section de l'éprouvette, et calculer le rapport **r/R**.



Photo III.16: Ecrasement les éprouvettes par la presse hydraulique (charge de rupture)

Les tableaux ci-dessous résume les résultats :

Tableau III.14 : Résultats d'essai 'duriez' de l'éprouvette Béton bitumineux de référence

	Sec (a l'air)			Immergée (a l'eau)		
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Masse (g)	1001.4	1002.7	999.8	1025.1	1019	1028.5
Charge de rupture (KN)	75.50	69.35	85.87	60.61	59.47	70.60
Résistance en immerssion'r'(Mpa)	//	//	//	12.05	11.83	14.04
Résistance à sec 'R'(Mpa)	15.02	13.79	17.08	//	//	//
Moyenne 'r'(Mpa)	12.64					
Moyenne 'R'(Mpa)	15.29					
r/R	0.82					

Tableau III.15 : Résultats d'essai 'duriez' de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (1% de déchet plastique)

	Sec (a l'air)			Immergée (a l'eau)		
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Masse (g)	**1019.6**	**1018.9**	**1021.1**	**1034.5**	**1021.7**	**1027.3**
Charge de rupture (KN)	**64.12**	**76.23**	**69.8**	**52.13**	**54.8**	**60.26**
Résistance en immerssion'r'(Mpa)	//	//	//	**10.37**	**10.9**	**11.98**
Résistance à sec 'R'(Mpa)	**12.75**	**15.16**	**13.88**	//	//	//
Moyenne 'r'(Mpa)	**11.08**					
Moyenne 'R'(Mpa)	**13.93**					
r/R	**0.79**					

Tableau III.16 : Résultats d'essai 'duriez' de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (3% de déchet plastique)

	Sec (a l'air)			Immergée (a l'eau)		
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Masse (g)	**1009.3**	**1015.5**	**1013.8**	**1001**	**980.6**	**1002.6**
Charge de rupture (KN)	**78.35**	**77.29**	**79.56**	**76.36**	**77.82**	**77.01**
Résistance en immerssion'r'(Mpa)	//	//	//	**15.91**	**15.48**	**15.32**
Résistance à sec 'R'(Mpa)	**15.58**	**15.37**	**15.82**	//	//	//
Moyenne' r'(Mpa)	**15.55**					
Moyenne 'R'(Mpa)	**15.59**					
r/R	**0.99**					

Tableau III.17 : Résultats d'essai 'duriez' de l'éprouvette Béton bitumineux modifie (5% de déchet plastique)

	Sec (a l'air)			Immergée (a l'eau)		
L'éprouvette	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Masse (g)	**1011.7**	**1017.5**	**1016.8**	**977.3**	**1007.5**	**1009.7**
Charge de rupture (KN)	**80.15**	**82.6**	**79.54**	**67.18**	**72.18**	**69.86**
Résistance en immerssion'r'(Mpa)	//	//	//	**13.36**	**14.35**	**13.89**
Résistance à sec 'R'(Mpa)	**15.94**	**16.43**	**15.82**	//	//	//
Moyenne 'r'(Mpa)	**13.86**					
Moyenne 'R'(Mpa)	**16.06**					
r/R	**0.86**					

Les figures III.8 et III.9 montrent les résultats de résistance moyenne à l'eau et l'air à chaque béton bitumineux :

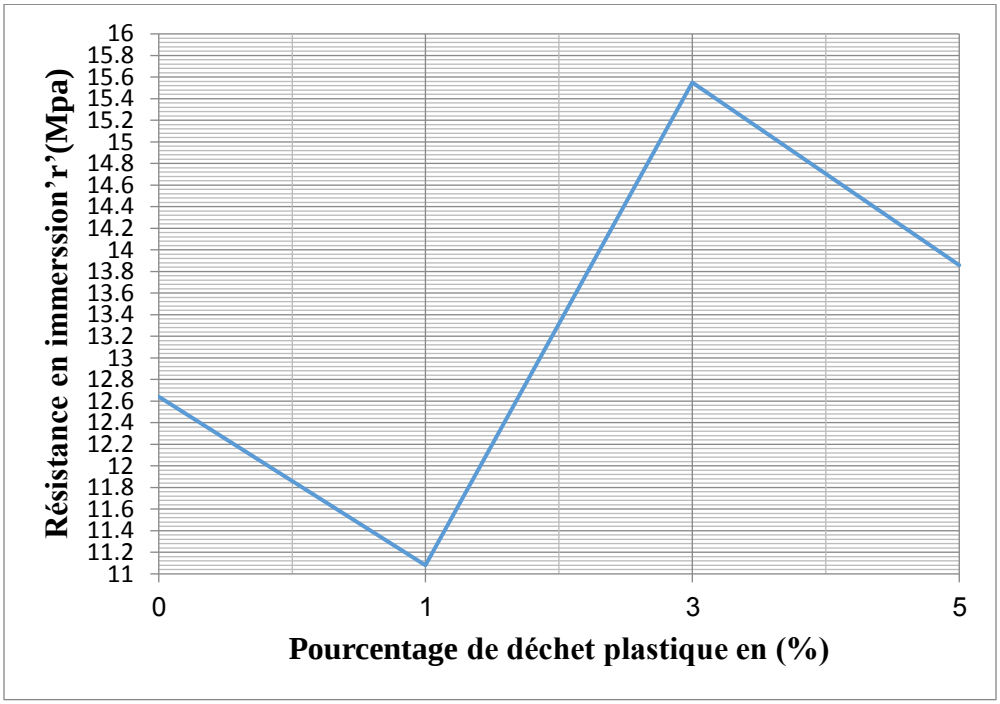


Fig III.8: Variation de la résistance à la compression en immersion en fonction de pourcentage déchet plastique alimentaire

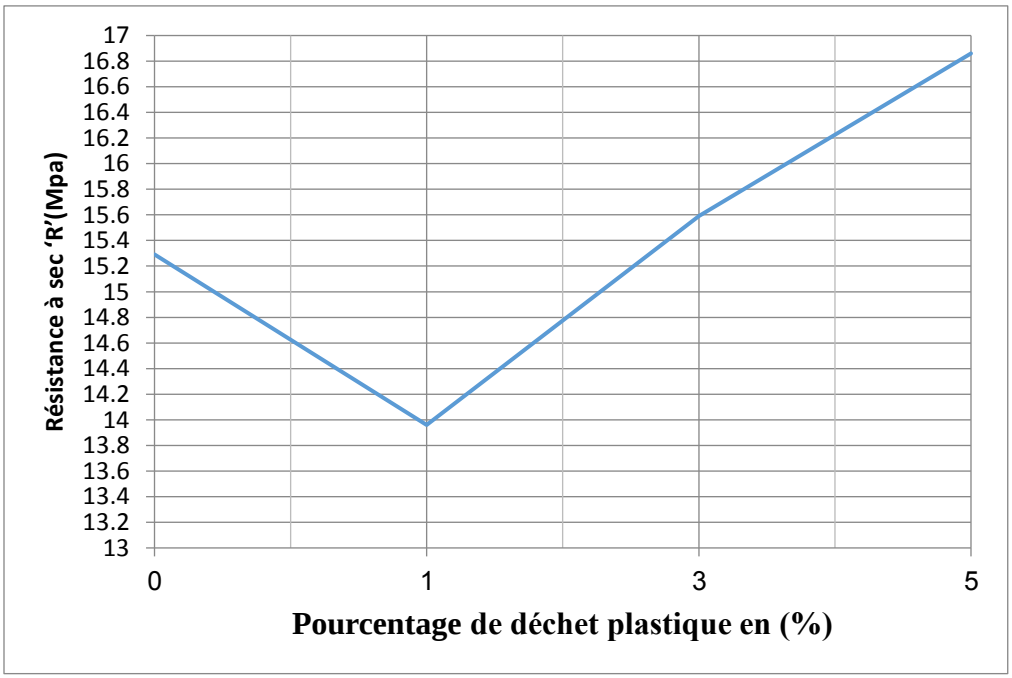


Fig III.9 : Variation de la résistance à la compression à l'air à 18°C en fonction de pourcentage déchet plastique alimentaire

III.2.3.3. Interprétation des résultats :

L'analyse des courbes de variation de la résistance à la compression en immersion a l'eau et a l'aire des mélanges des bétons bitumineux étudié en fonction de pourcentage de déchet plastique montre que :

- Tous les mélanges de bétons bitumineux sont répondus aux spécifications et donner de résultats acceptables **(r/R≥ 0.8)** de la norme **EN 12697-12** sauf le mélange **BB modifie** de **1%** de déchet plastique ne répond pas.
- L'incorporation de déchet plastique influe positivement sur la résistance à la compression en immersion. Cette résistance est maximale pour le mélange de **BB modifie 3%** de déchet plastique.
- La résistance à la compression à l'air des mélanges de **BB modifie 3%** et **5%** de déchet plastique est le plus élevée ceci peut être expliqué par le taux élevé de bitume qui offre plus des efforts de cohésion.
- En remarque que le mélange de **BB modifie 1%** de déchet plastique est plus faible à la résistance à la compression à l'air et l'eau.

III.2.4. Essai module de rigidité (EN 12697-26) :

Cet essai a pour but de mesurer le comportement des enrobés à travers les valeurs de module de rigidité et module complexe, dans notre étude on a réalisé cet essai sur des éprouvettes cylindrique.



Photo III.17: la forme des éprouvettes pour réaliser essai de module

Les résultats d'essai sont présentés dans le tableau ci-dessous (voir l'annexe) :

Tableau III.18: Résultats de l'essai module (15°C et 10 Hz)

Choix d'enrobé bitumineux	Béton bitumineux de référence	Béton bitumineux de modifie		
Pourcentage de déchet	**0%**	**1%**	**3%**	**5%**
Module de rigidité E(Mpa)	8934	11546	13272	12101

III.2.4.1. Interprétation des résultats :

D'après les résultats obtenus dans le tableau III.18 on a trouvé que :

- Tous les mélanges répondent aux spécifications **EN 12697-26 (voir tableau III.10)**.
- Le mélange **BB modifie 3%** de déchet plastique le plus rigide E=13272 Mpa, Cette augmentation de module rigidité de l'enrobé bitumineux traduire que les bitume deviennent plus rigide dus à la fusion de certaines espèces chimiques de déchet plastique avec du bitume ou la modification de certains liens physiques entre les agglomérats d'asphaltènes dans le bitume utilisé. [33]
- En a classé tout le mélange de béton bitumineux modifié (1%,3 et 5%) dans la classe des Béton bitumineux module a élevée **(BBME).**

III.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, des expériences ont été effectuée pour les essais de formulation en trouvé Béton bitumineux modifie de 3% déchet plastique le plus optimal par rapport les autre mélange béton bitumineux modifié 1% et 5% de déchet plastique, alors Béton bitumineux modifie de 3% déchet plastique donné hautes performances mécaniques pour couche de roulement.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'utilisation des enrobés bitumineux dans la construction routière fait appel toujours à des nouvelles techniques d'évaluation de leurs caractéristiques, notre mémoire nous a permet d'aborder la méthode d'évaluation des caractéristiques des enrobés par la méthode des formulations.

Au terme de cette mémoire, nous avons tiré les conclusions suivantes :

- Toute étude de formulation d'enrobé doit être précédé d'une caractérisation détaillée des matériaux utilisés (agrégats, bitume, additifs …) avec meilleure adhésion bitume-agrégats.
- L'étude de formulation nous permet de trouver la meilleure formule granulaire et les dosages en liant optimaux.
- L'ajout de 3% de déchet plastique alimentaire pour les enrobés bitumineux répond aux exigences d'une formulation niveau 03 classe 03 et conduit à des performances tout à fait intéressantes notamment aux niveaux des propriétés mécaniques par rapport à l'enrobé de référence telle que :

1. On doit vérifier la compactibilité de l'enrobé au moyen de l'essai PCG.
2. On doit vérifier stabilité et fluage Marshall.
3. On doit vérifier la tenue à l'eau de notre enrobé par l'essai DURIEZ.
4. On doit vérifier leurs comportements mécaniques par la détermination du module de rigidité, cette étape est classé niveau 03.

- Réduction des épaisseurs couche de roulement.
- Durée de vie élevée des routes.
- Réduire le prix.

Les perspectives en visageables de notre travail de mémoire s'élaborent selon les points suivants :

- ✓ Modification du bitume par déchet industrielles (modification des enrobes bitumineux par voie humide).
- ✓ Réaliser des planches d'essais avec des enrobés modifiés sur des routes pour voir le comportement réel du mélange et l'évolution des caractéristiques mécanique et rhéologiques des mélanges sous l'effet du trafic et du climat.

Liste des références bibliographie

[1]	Christian BABILOTTE CERTU et Michel FAURE. Les cours de l'ENTPE, Cours de Routes tome 2, conception et dimensionnement des chaussées.
[2]	Hervé BRUNEL, université d'Orléans I.U.T. de Bourges, Département de génie civil : cours de routes 2007/2008.
[3]	Jean BERTHIER, professeur à l'Ecole Nationale des ponts et chaussées, Techniques de l'ingénieur : projets et construction de routes, 1992.
[4]	HASSOUN B, Contribution à la faisabilité du recyclage des enrobés bitumineux des chaussées en Algérie, Thèse magister Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2009.
[5]	HARLIN M., Le bitume : Propriétés, caractéristiques, essais de laboratoire et spécifications, Formation continue E.N.P.C. Session Couche de roulement, Paris, Novembre 1992
[6]	GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG Cahier des charges 'enrober à chaud' (CDC-ENR05)PONTS ET CHAUSSEES.
[7]	Scétauroute, 1997, Manuel de conception des chaussées d'autoroutes, (4ème édition)
[8]	Nicolas BUECHE,2011, Evaluation des performances et des impacts des enrobés bitumineux tièdes,p20.
[9]	Bueche, N., Ould-Henia, M., et Dumont, A.-G. Elaboration d'un plan des classes de trafic pondéral du réseau routier de la ville de Lausanne. Lausanne. 2005.
[10]	Said LALDJI, (2013): « Les Enrobés bitumineux », ETS Cours,P3.
[11]	Shell Bitumes., « Techniques et Utilisations », Ed. Société des Pétrole Shell, 1991.
[12]	Mehdi OULD-HENIA (2005), « MODELISATION ET PREDICTION DU COMPORTEMENT RHEOLOGIQUE DES MELANGES BITUME CAOUTCHOUC », Thèse de Doctorat, ECOLE FEDERALE DE LAUSANNE (génie civil
[13]	mannuel du laboratoire routier par R. PELTIER.
[14]	Bitume Québec, (2008) : « Guide de bonne pratique : la mise en œuvre des enrobés », Bitume Québec, Québec, Canada.
[15]	KETTAB R. Bali et J.M. FLUREAU, (2002) : « Conception et Réalisation des Chaussées en Milieu Désertique (Design and Realization of Pavements in Desert Environment) », Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieure, Nancy. France
[16]	Jean François CORTE et Hervé DI BENEDETTO, (2005) : « Matériaux routiers bitumineux 2 :constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges bitumineux, volume 2 », Hermés Lavoisier,France.

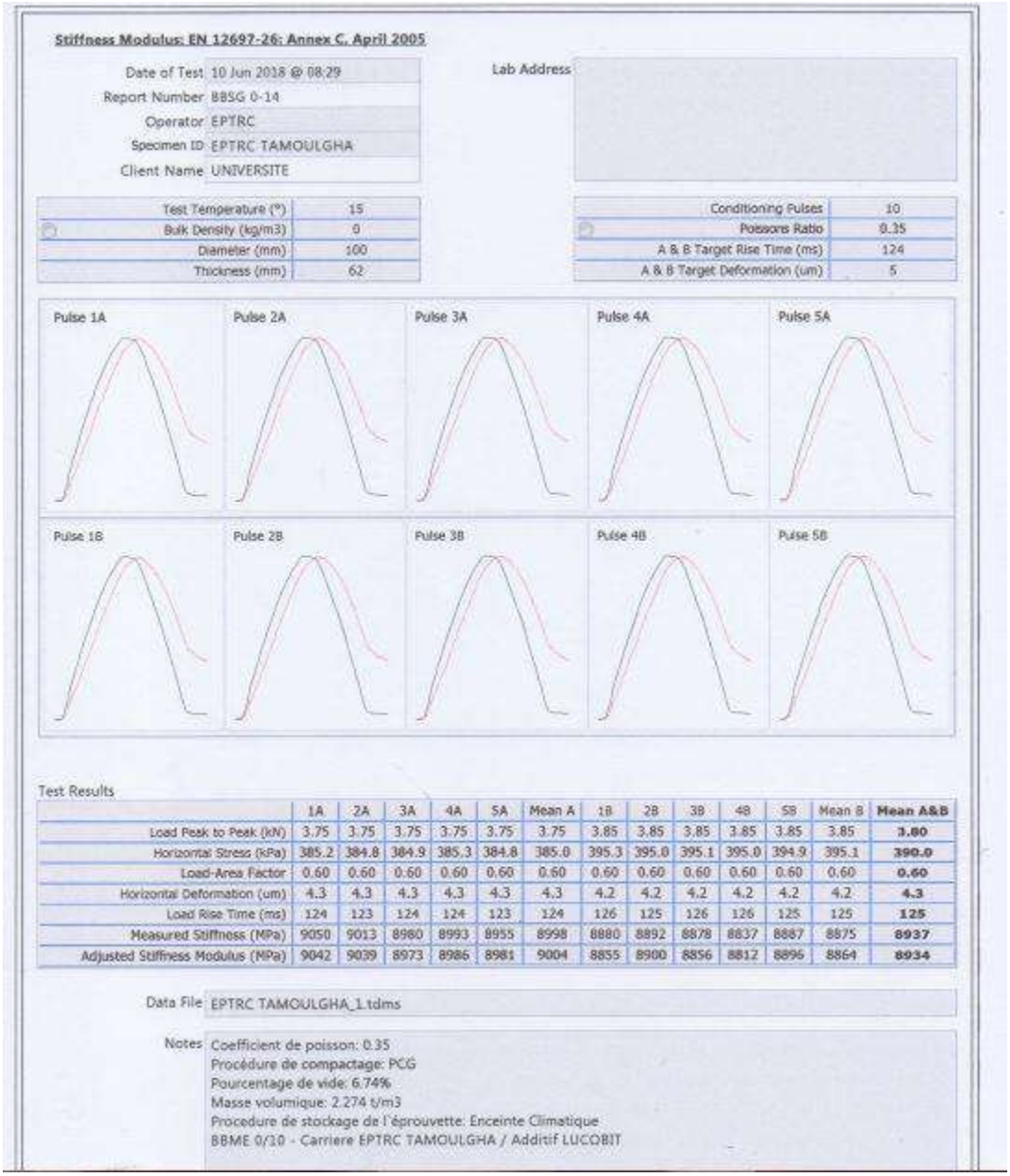
[17]	Ibrahim HACHANI, Djihad DAAS, (2013) : « Etude d'un béton bitumineux modifie a la poudrette de caoutchouc - Influence du mode de modification », UKM Ouargla, Algérie,P6.
[18]	CDC-ENR05, (2005) : «CAHIER DES CHARGES 'ENROBES A CHAUD», Le Ministre des Travaux Publics , Algérie.
[19]	CTTP (2004) : « Contrôle Technique des Travaux Publics. » , Algérie
[20]	JABRI. A et HAMMANA. A (2016) : «CARACTERISATION DES ENROBES BITUMINEUX RECYCLES » Université de Tébessa, Algérie
[21]	Balay ,J., ODEON, H., Dimensionnement des structures de chaussées. Cours de 3éme année de l'Ecole Nationale des Traveaux Publics de l'Etat, 1999.
[22]	Di BENEDETTO, H., Modélisation: écart entre état des connaissance et application, Journnée LAVOC, Ecole Polytéchnique Fédérale de Lausanne, 16 septembre 1998, 23p.
[23]	Di Benedetto, H, et JF Corté. 2005. « Matériaux routiers bitumineux 2 ». Hermès Lavoisier Editions
[24]	Lachance Tremblay, Éric. 2014. « Incorporation de particules de verre post-consommation dans un enrobé bitumineux de type ESG14 ». Mémoire de maîtrise électronique. Montréal, École de technologie supérieure, 241 p
[25]	Jean-Luc DELORME, Chantal de la ROCHE, Louisette WENDLING, (2007) : « Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés », Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France.
[26]	Ibrahim HACHANI, Djihad DAAS, (2013) : « Etude d'un béton bitumineux modifie a la poudrette de caoutchouc - Influence du mode de modification », UKM Ouargla, Algérie ,P16.
[27]	CST COLAS, (2006): « Commission Scientifique et Technique», Paris, France.
[28]	BÉGHIN A., Apport de mesures rhéologiques et de pelage à l'analyse de la rupture de liants bitumineux, Thèse de doctorat Université de paris 6, 2003.
[29]	Mandel, (1955) : « les corps viscoélastiques à comportement linéaire - Comptes rendus de l'Académie des Sciences », t. 241, pp. 1910-1912, Paris, France.
[30]	Duriez M, Arrambide J., « nouveaux traité de matériaux de constriction » tome 3, édition Dunod, paris, 1962.
[31]	Jean-Luc DELORME, Chantal de la ROCHE, Louisette WENDLING, (2007) : « Manuel LPC d'aide a la formulation des enrobes ≫, Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris, France.
[32]	Haddadi Smail, 2007 « **INFLUENCE DE LA POUDRETTE DE CAOUTCHOUC SUR LE COMPORTEMENT AU FLUAGE DES NROBÉS BITUMINEUX** » Thèse de Doctorat, Université des sciences et de la Technologie Houari Boumediène, Faculté de Génie Civil.

[33]	G. Ramond, et al, "Caractéristiques de Bitumes Utilisés en Algérie," Bulletin de Liaison Ponts et Chaussées, Vol. 225, pp. 3-11. (2000).

Liste des normes

Norme	Titre
EN 13108-1	Mélanges bitumineux – Spécification des matériaux – Enrobés bitumineux
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 12697-34	Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 34 : Essai Marshall
NF EN 12697-12	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
NF EN 12697-26	Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 26 : Module
NF P 18-554	La masse volumique absolue ρs est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat.
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
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)
NF P 18-560	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 1 : détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage
NF P 18-561	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 3 : détermination de la forme des granulats – Coefficient d'aplatissement
NF P 18-597	La presente norme experimentale a pour objet de definir une caracteristique des sables intitulee "equivalent de sable a 10 % de fines" et de fixer la methode permettant de determiner cette caracteristique.
NF T 66 – 007	Produits noirs - Détermination de la densité relative des produits bitumineux - Méthode du pycnomètre
NF EN 1426	Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille
NF EN 1427	Bitumes et liants bitumineux - Détermination du point de ramollissement - Méthode Bille et Anneau
NF EN 13303	Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la perte de masse au chauffage des bitumes industriels

Les annexes



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

Date of Test	10 Jun 2018 @ 08:29
Report Number	88SG 0-14
Operator	EPTRC
Specimen ID	EPTRC TAMOULGHA
Client Name	UNIVERSITE

Lab Address

Test Temperature (°)	15
Bulk Density (kg/m3)	0
Diameter (mm)	100
Thickness (mm)	62

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

Pulse 1A Pulse 2A Pulse 3A Pulse 4A Pulse 5A

Pulse 1B Pulse 2B Pulse 3B Pulse 4B Pulse 5B

Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	**Mean A&B**
Load Peak to Peak (kN)	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	**3.80**
Horizontal Stress (kPa)	385.2	384.8	384.9	385.3	384.8	385.0	395.3	395.0	395.1	395.0	394.9	395.1	**390.0**
Load-Area Factor	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	**0.60**
Horizontal Deformation (um)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	**4.3**
Load Rise Time (ms)	124	123	124	124	123	124	126	125	126	126	125	125	**125**
Measured Stiffness (MPa)	9050	9013	8980	8993	8955	8998	8880	8892	8878	8837	8887	8875	**8937**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	9042	9039	8973	8986	8981	9004	8855	8900	8856	8812	8896	8864	**8934**

Data File: EPTRC TAMOULGHA_1.tdms

Notes:
Coefficient de poisson: 0.35
Procédure de compactage: PCG
Pourcentage de vide: 6.74%
Masse volumique: 2.274 t/m3
Procedure de stockage de l'éprouvette: Enceinte Climatique
BBME 0/10 - Carriere EPTRC TAMOULGHA / Additif LUCOBIT

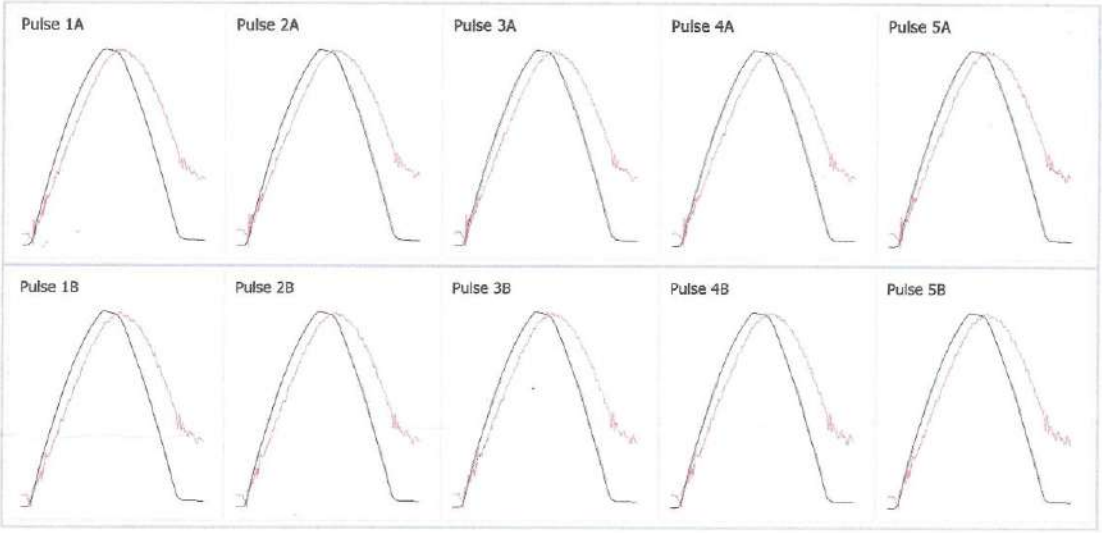
Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005

Date of Test	06 May 2019 @ 10:31
Report Number	
Operator	EPTRC
Specimen ID	ETUDIENTS
Client Name	

Lab Address

Test Temperature (°)	15
Bulk Density (kg/m3)	0
Diameter (mm)	100
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)	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.57	4.56	4.57	4.56	4.57	4.56	**4.49**
Horizontal Stress (kPa)	446.8	446.8	446.8	446.7	446.8	446.8	461.3	461.1	461.3	461.2	461.3	461.3	**454.0**
Load-Area Factor	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	**0.60**
Horizontal Deformation (um)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	**3.8**
Load Rise Time (ms)	125	124	124	125	125	124	124	123	124	124	123	124	**124**
Measured Stiffness (MPa)	11799	11498	11537	11461	11530	11565	11612	11566	11445	11522	11532	11536	**11550**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	11779	11525	11563	11446	11514	11565	11583	11583	11419	11497	11551	11526	**11546**

Data File ETUDIENTS_1.tdms

Notes Informations sur l'éprouvette

Coefficient de poisson: 0.35
Procédure de compactage: PCG
Pourcentage de vide 5.37%
Masse volumique: 2.308 t/m3
Procedure de stockage de l'éprouvette: Enceinte Climatique
BBME 0/14 - AVEC 1% DE FIBRE EN PLASTIQUE

Signed

Date

cooper

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

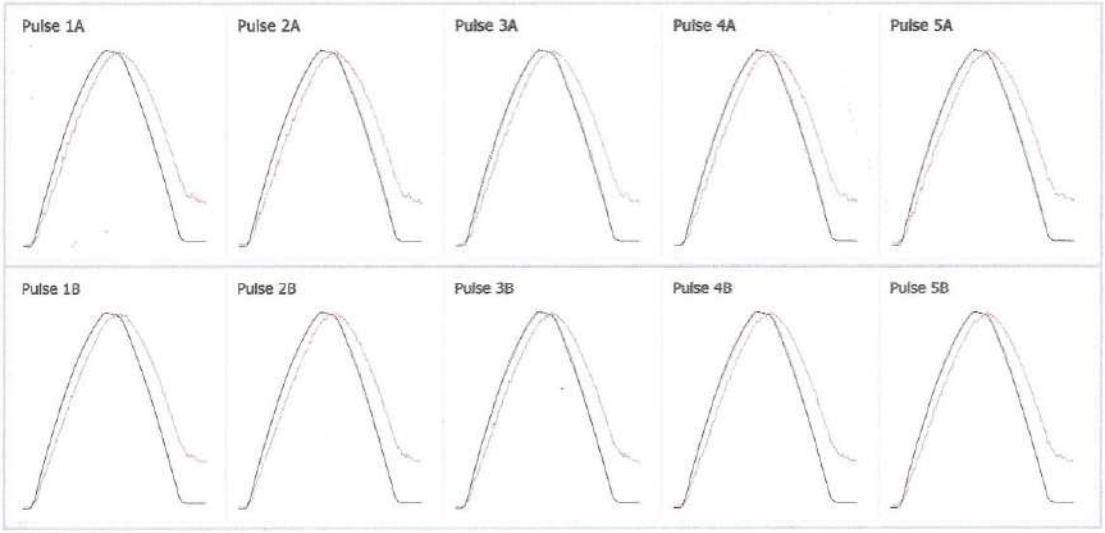
Date of Test	06 May 2019 @ 10:42
Report Number	
Operator	EPTRC
Specimen ID	ETUDIANT
Client Name	

Lab Address

المؤسسة العمومية لأشغال الطرق للوسط
ENTREPRISE PUBLIQUE DES TRAVAUX ROUTIERS DU CENTRE
Direction Technique
Laboratoire Berrouaghia

Test Temperature (°)	15
Bulk Density (kg/m3)	0
Diameter (mm)	100
Thickness (mm)	61

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)	4.65	4.64	4.64	4.64	4.65	4.64	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76	**4.70**
Horizontal Stress (kPa)	484.8	484.6	484.5	484.7	485.0	484.7	496.9	497.1	497.3	497.3	497.1	497.1	**490.9**
Load-Area Factor	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.59	0.60	0.60	**0.60**
Horizontal Deformation (um)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	**3.6**
Load Rise Time (ms)	126	125	125	125	125	125	125	125	125	126	125	126	**125**
Measured Stiffness (MPa)	13500	13377	13487	13441	13383	13438	13238	13217	13153	13138	13115	13172	**13305**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	13436	13364	13472	13425	13367	13413	13202	13186	13124	13058	13081	13130	**13272**

Data File ETUDIANT_1.tdms

Notes Informations sur l'éprouvette

Coefficient de poisson: 0.35
Procédure de compactage: PCG
Pourcentage de vide 5.65%
Masse volumique: 2.295 t/m3
Procedure de stockage de l'éprouvette: Enceinte Climatique
BBME 0/14 - AVEC 3% DE FIBRE EN PLASTIQUE

Signed

Date

Agrément de CACQE N° 034 du 24 – 09 – 2014

cooper

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

Date of Test	06 May 2019 @ 10:57
Report Number	
Operator	EPTRC
Specimen ID	ETUDIANT
Client Name	

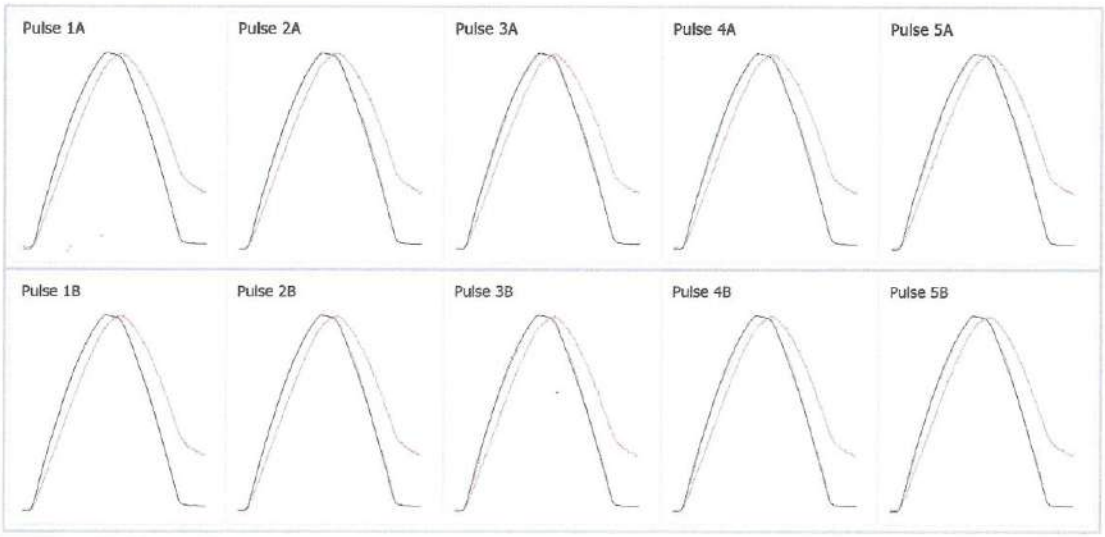
Lab Address

المـــؤسســـة العـــمـومـيـــة لأشغـــال الطـــرق للوســـط
ENTREPRISE PUBLIQUE DES TRAVAUX ROUTIERS DU CENTRE

Direction Technique
Laboratoire Berrouaghia

Test Temperature (°)	15
Bulk Density (kg/m3)	0
Diameter (mm)	100
Thickness (mm)	61

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)	4.42	4.43	4.42	4.42	4.42	4.42	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	**4.43**
Horizontal Stress (kPa)	461.5	461.8	461.5	461.5	461.5	461.6	462.9	463.0	463.4	463.5	463.2	463.2	**462.4**
Load-Area Factor	0.60	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	**0.60**
Horizontal Deformation (um)	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	**3.7**
Load Rise Time (ms)	125	126	125	125	125	125	126	125	125	125	126	125	**125**
Measured Stiffness (MPa)	12182	12192	12128	12123	12109	12147	12151	12098	12074	12094	12055	12094	**12121**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	12162	12129	12107	12098	12088	12117	12115	12107	12083	12103	12019	12085	**12101**

Data File ETUDIANT_4.tdms

Notes Informations sur l'éprouvette

Coefficient de poisson: 0.35
Procédure de compactage: PCG
Pourcentage de vide 5.19%
Masse volumique: 2.306 t/m3
Procedure de stockage de l'éprouvette: Enceinte Climatique
BBME 0/14 - AVEC 5% DE FIBRE EN PLASTIQUE

Signed

Date

Agrément de CACQE N° 034 du 24 – 09 – 2014

cooper