

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE



MÉMOIRE
Master Académique en Génie Civil
Option : Voies et Ouvrages d'Art
*Présenté par : KOUIDRI Djamila * TELILI Mebarka*

THÈME :

**INFLUENCE DES DECHETS PLASTIQUES SUR LES
PERFORMANCES DES BETONS BITUMINEUX A BASE DE
SABLE DE DUNES**

Soutenu publiquement Le 04 / 06 /2017

Devant le jury composé de :

Président ABANI Said	Maitre Assistant. (A)	UKMO
Examineur BELFARRAG Alaoua	Maitre de conférences.(B)	UKMO
Encadreur KEBAILI Nabil	Maitre de conférences.(B)	UKMO

PROMOTION: 2016 – 2017

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



REMERCIEMENTS

Nous remercions, en premier lieu, dieu le tout puissant de nous avoir donné la force d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements vont pour tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, on cite :

- *Notre enseignant et notre guide durant toute cette année, a vous Mr N. KEBANLI pour votre encadrement et votre soutien moral.*
- *Merci à nos amis d'avoir su nous reconforter quand tout aller mal.*
- *Merci à toute l'équipe du laboratoire LTPS Unité d'Ouargla, Mr HAFSI Abdelatif et spécialement Mr. Koraichi Djamel et Foulani Mourad pour leurs soutiens, leurs aides et tout le temps que vous nous avez consacré.*
- *Merci au directeur d'UTPS, Mr N. MOUDJAHED et tous les enseignants et les techniciens au Département Génie Civil de l'université KASDI MERBAH OUARGLA.*
- *En tien aussi à remercier nos enseignants des années précédentes qui ont contribué à notre formation.*

Merci pour tout ce que vous avez fait Que Dieu vous récompense et vous donne longue vie



M. TELILI & D. KOUIDRI



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail premièrement à :

*Celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et
ma réussite, à ma mère Fatiha*

*A mon père Mahmoud école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années
des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à
me protéger.*

Que dieu les gardes et les protège

Mes chers frères : Abdelaziz et Brahim et Nouredine

et mon fiancé Halim

*Je le dédie également à mes camarades du département de Génie civil et Hydraulique de
l'université Kasdi Merbah d'Ouargla.*

A toute la famille KOUIDRI

Et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



D. KOUIDRI



Dédicaces

Ce document est le fruit d'un travail dont je suis l'heureux dépositaire, que les personnes qui m'ont aidé pour arriver à ce résultat reçoivent toutes mes reconnaissances et toutes mes grâces.

Je dédie ce mémoire

À mes très chers parents qui étaient là pour me donner force, joie de vivre, amour, affection et surtout pour leur attention et leur patience. À tous mes proches de la famille 72929, et plus particulièrement, mes sœurs et mes frères chacun à son nom et sans oublier les familles HAQUIGA, ET KOURICHI :

À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université de Ouargla

À tous ceux qui me sont chers et proches,

À tous ceux qui ont semé en moi à tout point de vue,

Et à tous ce qui m'ont enseigné le long de ma vie scolaire

72929



الملخص:

تتوجه هذه الدراسة نحوى البحث في إمكانية استخدام المواد البلاستيكية المكررة في تحسين الخرسانة الزفتية وذلك بدل استخدام المواد البوليميرية، حيث يسمح هذا البحث في التوسيع في مجال تكرير النفايات البلاستيكية و استخداماتها. يعتمد هذا البحث على الحالة السائلة لتعديل الرابط الزفتي على مستوى الخرسانة باستخدام حبيبات من المواد بلاستيكية مكررة، وتلجى هذه الدراسة إلى مبدأ المقارنة بين نتائج مختلف التجارب الميكانيكية التي أجريت على عينات خرسانة بزفت غير معدل وزفت معدل بنسب مختلفة وذلك للوصول إلى مدى تأثير هذا التعديل على هذه الخصائص . في نهاية هذه الدراسة وصلنا إلى نتائج جيدة في الخصائص الميكانيكية بالنسبة للزفت المعدل بنسبة 5% من البلاستيك وبتكرير يقدر ب 5.36% مقارنة بالزفت غير المعدل خاصة بالنسبة لاستقرار الخرسانة الزفتية.

الكلمات المفتاحية: بلاستيك، تكرير، زفت، زفت معدل، خرسانة زفتية.

Résumé :

Cette recherche diriger vers étudier la possibilité de l'utilisation des matières plastiques recyclées pour valoriser les caractéristiques des bétons bitumineux qu'au lieu les polymères .cela permet au terme de recherche dans l'expansion de recyclage des déchets plastiques et ses utilisations

Cela dépend des recherches sur la par voie humide pour modifier le liant hydrocarboné au niveau le béton bitumineux, par l'utilisation des poudrettes de plastiques, d'où il pas sur le principe de comparaison enter les résultats des différents essais mécaniques qui effectuées sur les éprouvettes de béton bitumineux à bas bitume non modifiés et bitume modifiés avec différents pourcentages de manière à atteindre dans la mesure de l'impact de cette modification sur ses propriétés.

A la fin de cette étude, nous avons obtenu de bons résultats dans les propriétés mécaniques de l'asphalte pour le taux de 5% de plastique et une concentration estimée d'un 5,36% par rapport à taux de non-goudron en particulier pour la stabilité du béton bitumineux

Mots clés : plastique recyclage bitume, bitume modifiés béton bitumineux

Summary:

This research lead to explore the possibility of using recycled plastics to enhance the characteristics of asphalt concrete instead polymer , it allows search terms in the expansion of plastic waste and its use.

It depends research on dry process for the modified asphalt binder in the asphalt concrete, using crumb plastics, where based on the principle of comparing the results of different mechanical tests performed on that specimens of asphalt concrete base and asphalt bitumen unmodified and modified with different percentages, in order to achieve the extent of the impact of this change on these properties.

At the end of this study, we achieved good results in the mechanical characteristics of the modified asphalt by 5% of the plastic with a concentration of 5.36% compared to the non-modified asphalt, especially for the stability of the asphalt concrete.

Keywords: plastic, recycling, bitumen, bitumen modified, asphalt concrete.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE A : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I	
GENERALITES SUR LES BETONS BITUMINEUX	
I.1. LES CHAUSSEES ROUTIERES	3
I.1.1. Couche de surface	3
I.1.2. Les enrobés bitumineux	3
I.2. CARACTERISTIQUES DES BETONS BITUMINEUX	4
I.3. COMPOSITION DES BETON BITUMINEUX	5
I.3.1. Liants hydrocarbonés	5
I. 3.2. Bitume	6
I.4. COMPOSANTS MINERAUX	8
I.5. FORMULATION DES BETONS BITUMINEUX	8
I.6.PARAMETRES INFLUENÇANT LE CHOIX D'UNE FORMULATION	8
I.7. LA COMPACITE	10
I.8. PROPRIETES MECANIQUES DES BETONS BITUMINEUX	10
I.8.1. Essai Marshall (NF P98-251-2)	11
I.8.2. Essai Duriez (Essai de compression simple type LCPC) (NF P9-251-1)	12
I.9. LES SABLES DE DUNES	13
I.9.1. Définition	13
I.9.2. Identification des sables de dunes du Sahara	13
I.9.3. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier	14
I.10. CONCLUSION	14
CHAPITRE II	
APERÇU SUR LES DECHETS PLASTIQUES	
II.1. DEFINITION	15
II.2. CONSTITUTION CHIMIQUE	15
II.3. LE RECYCLAGE	16
II.4. EXEMPLES DE TRAITEMENT	17
II.4.1. La valorisation matière	17
II.4.2. La valorisation chimique	17
II.4.3. La valorisation énergétique	17
II.5. CONCLUSION	17
PARTIE B: ETUDE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE III	
CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS	
III.1. INTRODUCTION	18
III.2. LES BITUME	18
III.3. GRANULATS	18
III.3.1. Présentation des granulats	18
III.3.2. Analyse granulométrique (NFP 18-560)	19
III.3. 3. Analyse chimique (NF 15-461)	20
III.3.4. Propreté des granulats	21
III.3.5. Mesure des poids spécifiques des granulats	22
III.3.5.1. La masse volumique	22
III.3.5.2. Essai Proctor Modifié	23
III.3.6. Essai de résistance à l'usure et au choc	23
III.3.6.1. Mesure du coefficient Micro Dévalé en présence d'eau	23
III.3.6.2. Mesure du coefficient Los Angeles	23
III.3.7. Analyse des résultats	24
III.4. POUDRETTE PLASTIQUE UTILISE	24

III.4.1. Caractéristiques physiques	25
-------------------------------------	----

CHAPITRE IV

ESSAIS REALISES ET DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

IV.1. INTRODUCTION	26
IV.2. CONFECTION DES EPROUVETTES	27
IV.2.1. Préparation des mélanges	27
IV.2.1.1. Préparation des agrégats	27
IV.2.1.2. Préparation du liant	27
IV.2.1.3. Malaxage	28
IV.2.2. Confection des éprouvettes pour l'essai Marshall (NFP 98-251-2)	28
IV.2.2.1. Remplissage des moules et compactage	29
IV.2.2.2. Démoulage	30
IV.2.3. Confection des éprouvettes pour l'essai Duriez (NFP 98-251-1)	30
IV.2.3.1. Remplissage des moules et compactage	31
IV.2.3.2. Démoulage	32
IV.3. EQUIPEMENTS ET PROCEDURES D'ESSAIS	32
IV.3.1. Essai Marshall	32
IV.3.1.1. Principe de l'essai	33
IV.3.1.2. Déroulement de l'essai	33
IV.3.2. Essai Duriez	34
IV.3.2.1. Principe de l'essai	35
IV.3.2.2. Déroulement de l'essai	35
IV.4. DETERMINATION DE LA DENSITE APPARENTE PAR PESEE HYDROSTATIQUE	35
IV.5. DETERMINATION DE LA DENSITE THEORIQUE OU ABSOLUE	36
IV.6. DETERMINATION LE POURCENTAGE DES VIDES ET LA COMPACITE	36
IV.7. DETERMINATION LE POURCENTAGE D'IMBIBITION W (%)	37
IV.8. CONCLUSION	37

CHAPITRE V

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V.1. INTRODUCTION	38
V.2. ESSAI MARSHALL	38
V.2.1. Étude Expérimentale des deux Modes	38
V.2.1.1. Mode A	38
V.2.1.1.1. La densité apparente et la densité absolue	38
V.2.1.1.2. Pourcentage des vides	39
V.2.1.1.3. Evolution de la compacité	41
V.2.1.1.4. Evolution de la stabilité Marshall	42
V.2.1.1.5. Evolution du fluage Marshall	43
V.2.1.2. Synthèse générale (Mode A)	45
V.2.1.2. Mode B	45
V.2.1.2.1. La densité apparente et la densité absolue	46
V.2.1.2.2. Pourcentage des vides	46
V.2.1.2.3. Evolution de la compacité	47
V.2.1.2.4. Evolution de la stabilité Marshall	48
V.2.1.2.5. Evolution du fluage Marshall	49
V.2.2. Synthèse générale (Mode B)	49
V.2.2. Synthèse globale et comparaison	50
V.3. ESSAI DURIEZ	50
V.3.1. Etude expérimentale des deux modes	50
V.3.1.1. Mode A	50
V.3.1.1.1. Stabilité Duriez	50
V.3.1.1.2. Pourcentage d'imbibition "W"	51
V.3.1.2. Mode B	52
V.3.1.2.1. Stabilité Duriez	52
V.3.1.2.2. Pourcentage d'imbibition (W)	52
V.4. CONCLUSION	54

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : GENERALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX

Figure (I.1): Constitution d'une structure de chaussée type	3
Figure (I.2): Composition de béton bitumineux	4
Figure (I.3): Types de Liants hydrocarbonés	6
Figure (I.4): Pénétrömètre à aiguille	7
Figure (I.5): Mesure de la température de ramollissement Bille et Anneau	8
Figure (I.6): Machine d'essai Marshall	11
Figure (I.7): Machine d'essai Duriez	12
Figure (I.8): Dunes de sable	13

CHAPITRE II : APERÇU SUR LES DECHETS PLASTIQUES

Figure (II.1): Recyclage de plastique	16
Figure (II.2): Méthode de Recyclage des plastiques	16

CHAPITRE III : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS

Figure (III.1): Analyse granulométrique des sables naturels utilisés	19
Figure (III.2): Analyse granulométrique des graviers 3/8	20
Figure (III.3): Analyse granulométrique des graviers 8/15	20
Figure (III.4): Equivalent de sable	21
Figure (III.5): Courbe Proctor	23
Figure (III.6): Poudrette plastique	24

CHAPITRE IV : ESSAIS REALISES ET DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Figure (IV.1): Etape de formulation	26
Figure (IV.2): Etuve utilisé dans cette étude	27
Figure (IV.3): Opération de malaxage	28
Figure (IV.4): Exemple d'éprouvettes Marshall	29
Figure (IV.5): Remplissage du moule	29
Figure (IV.6): Opération de compactage	29
Figure (IV.7): Opération de démoulage des moules	30
Figure (IV.8): Exemple des éprouvettes confectionnées de l'essai Duriez	31
Figure (IV.9): Remplissage du moule	31
Figure (IV.10): Opération de démoulage des moules	32
Figure (IV.11): Principe de l'essai Marshall	33
Figure (IV.12): Le bain thermostatique	34
Figure (IV.13): Eprouvette dans les mâchoires	34
Figure (IV.14): Eprouvettes dans un bain normalisé de 18°C	35
Figure (IV.15): Eprouvettes paraffinées	36

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Figure (V.1): Variation des vides en fonction des teneurs en bitume selon chaque mélange (BB ordinaire)	40
Figure (V.2): Variation des vides en fonction des teneurs en bitume selon chaque mélange (BB de SD)	40
Figure (V.3): Variation de la compacité en fonction des teneurs en bitume (BB ordinaire)	41
Figure (V.4): Variation de la compacité selon la teneur en bitume (BB de sable de dune)	42
Figure (V.5): Variation de stabilité Marshall en fonction des teneurs en bitume (BB ordinaire)	43
Figure (V.6): Variation de la stabilité Marshall selon la teneur en bitume (BB de sable de dune)	43
Figure (V.7): Variation du fluage selon la teneur bitume (BB ordinaire)	44
Figure (V.8): Variation du fluage en fonction des teneurs en bitume (BB de sable de dune)	44
Figure (V.9): Variation du volume des vides (Vv)	46
Figure (V.10) : Variation de la compacité en fonction des déchets plastiques	47
Figure (V.11): Variation de stabilité moyenne en fonction des déchets plastique (BB de SD avec DPL)	48

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES BETONS BITUMINEUX

Tableau (I.1): Les différentes sortes de BB	4
Tableau (I.2): Fractions granulaires 0/14 des BB	9

CHAPITRE III

CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS

Tableau (III.1): Caractéristiques du bitume utilisé	18
Tableau (III.2): Pourcentages des tamis cumulés pour les classes granulaires	19
Tableau (III.3): Analyse chimique sommaire des granulats	21
Tableau (III.4): Propreté superficielle des granulats	21
Tableau (III.5): Equivalent de sable	22
Tableau (III.6): Masse volumique absolue et apparente des sables utilisés	22
Tableau (III.7): Résultats de mesures	23
Tableau (III.8): Coefficients micro Deval	23
Tableau (III.9): Coefficients Los Angeles des granulats	24

CHAPITRE V

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Tableau (V.1): Variation de la densité apparente et absolue (BB ordinaire)	39
Tableau (V.2): Variation de la densité apparente et absolue (BB de sable de dune)	39
Tableau (V.3): Valeurs de volume du vides (BB ordinaire)	39
Tableau (V.4): Valeurs de volume du vides (BB de sable de dune)	39
Tableau (V.5): Variation de la compacité des éprouvettes Marshall (BB ordinaire)	41
Tableau (V.6): Variation de la compacité Marshall de (BB de sable de dune)	41
Tableau (V.7): Variation de la stabilité Marshall (BB ordinaire)	42
Tableau (V.8): Variation de la stabilité Marshall (BB de sable de dune)	42
Tableau (V.9): Variation du fluage Marshall (BB ordinaire)	43
Tableau (V.10): Variation du fluage Marshall de (BB de sable de dune)	44
Tableau (V.11): Synthèse des résultats « Mode A »	45
Tableau (V.12): Variation de la densité (BB avec DPL)	46
Tableau (V.13): Valeurs de volume du vides de (BB avec déchets plastiques)	46
Tableau (V.14): Variation de la compacité (C) des éprouvettes Marshall	47
Tableau (V.15): Variation de la stabilité Marshall de (BB à base de SD avec DPL)	48
Tableau (V.16) : Variation du fluage Marshall de (BB de sable de dune avec DPL)	49
Tableau (V.17): Synthèse des résultats « Mode B »	51
Tableau (V.18): Stabilités Duriez	51
Tableau (V.19): Variation d'imbibition des éprouvettes Duriez (BB ordinaire)	51
Tableau (V.20): Variation du pourcentage d'imbibition Duriez (BB de sable de dune)	51
Tableau (V.21): Synthèse des résultats « Mode A »	52
Tableau (V.22): Stabilité Duriez de BB modifié	52
Tableau (V.23): Variation du pourcentage d'imbibition Duriez (BB modifié)	52
Tableau (V.24): Synthèse des résultats « mode B »	53
Tableau (V.25): Performances mécaniques des mélanges	54
Tableau (V.26): Évaluation générale entre les trois types de BB	55

NOMENCLATURES

CTTP	organisme national de Control Technique des Travaux Publics
ES	Equivalent de sable (%)
f	filler
K	Module de richesse
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LTPS	Laboratoire des Travaux Publics du Sud
ML	Masse de bitume utilisé
MS	Masse de mélange des sables utilisés
P₁	Poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'air,
P₂	Poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'eau.
P_b	Pourcentage en poids du bitume; PS1, PS2, PS3 ...ceux des sables.
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/cm ²
SC	Sable concassé 0/3
SD	Sable de dunes
TL	la teneur en bitume utilisé dans un mélange (%).
TL	Teneur en bitume
TL	Teneur en bitume utilisé dans un mélange (%).
UTPS	Unité de Transformation de plastique sud
V_L	Pourcentage des vides comblés par le liant (%)
V_v	Pourcentage volumétrique des vides de l'éprouvette (%)
W	Pourcentage d'imbibition
γ_a	Masse volumique apparente des sables (t/m ³ , g/cm ³ ,...)
γ_{abs}	Densité absolue du matériau enrobé en (g/cm ³)
γ_{app}	Densité apparente de l'éprouvette
γ_b	Densité du bitume
γ_s	Masse volumique absolue des sables (t/m ³ , g/cm ³ ,...)
γ_{S1}	Densité de sable 1; γ _{S2} , γ _{S3} ...celles des sables 2, 3...etc.
Σ	Surface spécifique

INTRODUCTION GENERALE

Dans la plupart des pays, le réseau routier représente le patrimoine le plus important qui appartient essentiellement à l'état. Chaque jour plusieurs kilomètres de rues, de routes, d'autoroutes, de pistes d'aéroports sont construits pour accroître les échanges et donner un dynamisme aux régions. Les administrations routières doivent entretenir, exploiter, améliorer, remplacer et préserver ce patrimoine tout en gérant avec soin les ressources financières et humaines qui doivent servir à réaliser ces objectifs.

Les ingénieurs routiers sont confrontés à de nombreux problèmes dans la conception des routes. Le plus éminent de ces problèmes est l'indisponibilité de matériaux de construction de la route naturelle appropriés. Cela nécessiterait soit la mise à niveau des matériaux locaux ou d'importer un autre matériau approprié pour le site, ce qui augmente le coût de la construction.

La présente recherche s'articule autour de l'axe visant l'amélioration du comportement des enrobés bitumineux par l'intermédiaire de l'amélioration des caractéristiques physico-mécaniques des liants hydrocarbonés qui les composent. A cet effet, le bitume de base a été modifié par ajout de poudrettes plastiques.

Les poudrettes de plastiques sont issues des déchets des sacs plastiques transformés sous forme des poudrettes à l'aide d'une opération de recyclage faite au niveau de la société UTPS (Unité de Transformation des Plastiques du Sud) Les poudrettes utilisées dans l'expérimentation sont des polyéthylènes à basse densité (PEBD). Les essais ont été réalisés conjointement au laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS, Ouargla)

La question principale : est-ce que la modification de béton bitumineux par des poudrettes plastiques recyclées influe sur les performances des bétons bitumineux a base de sable des dunes sac est dans le sens positif ou négatif ?

C'est pour cela qu'on a effectué cette recherche intitulé «l'influence des déchets plastiques sur les performances des bétons bitumineux a base de sable des dunes »

Afin de répondre à cette question, par exécuter une étude expérimentale sert à comparer des éprouvettes modifiées à la poudrette de plastiques selon deux modes de modification :

- **Mode A** : compensation du sable de dunes à la place du sable **0/3** avec des pourcentages de teneur en liant déterminés.

- **Mode B** : compensation de la poudrette de plastique à la place du sable des dunes suivant des pourcentages déterminés avec un teneur en liant optimal dans le **mode A**.

Donc le but final de notre recherche est de trouver le mode de modification et la teneur de Poudrettes qui aboutit l'enrobé le plus performant.

Pour atteindre ce but, on a scindé le présent travail en deux parties :

- Partie bibliographique

1. CHAPITRE I : généralités sur les bétons bitumineux

2. CHAPITRE II : déchet plastique

- Partie expérimentale

1. CHAPITRE III : caractérisation des matériaux utilisés

2. CHAPITRE IV : présentation des essais réalisés et dispositifs expérimentaux utilisés

3. CHAPITRE V : résultats et interprétation

CHAPITRE I

GENERALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX

CHAPITRE I

GENERALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX

I.1. LES CHAUSSÉES ROUTIÈRES

La chaussée est la partie d'une voie de communication affectée à la circulation des véhicules. Elle assure les déplacements des usagers et le transport des marchandises.

Une chaussée est constituée d'une superposition de couches de matériaux différents dont l'ensemble est appelé superstructure et reposant sur une infrastructure. Dans l'infrastructure nous avons le sol de plate-forme et une couche de forme en cas de remblai; pour la superstructure nous avons la couche de fondation, la couche de base et la couche de surface ou le revêtement. [1]

I.1.1. Couche de surface :

Elle est composée de la couche de liaison et de la couche de surface sur laquelle s'appliquent

Directement les charges. Elle doit satisfaire la sécurité et le confort des usagers, protéger la couche d'assise des différentes infiltrations (eaux, pluviales, polluants,..) . (K- SAFIA [1])

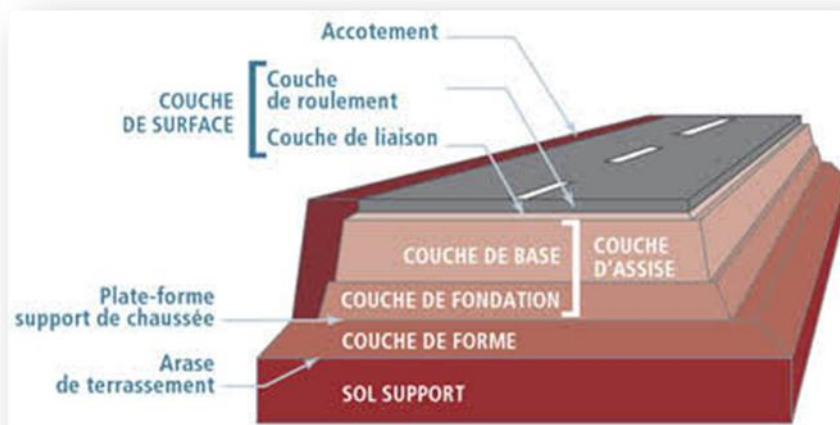


Figure (I.1) : Structure type d'une chaussée routière (K- SAFIA [1])

I.1.2. Les enrobés bitumineux :

Un béton bitumineux est un enrobé riche en bitume, utilisé principalement pour les couches de roulement, c'est-à-dire pour les couches supérieures de la chaussée. Les bétons bitumineux se classent en fonction de leur granulométrie. Ils sont toujours posés sur une couche de base en matériaux hydrocarbonés ou traités au liant hydraulique ou sur une couche de liaison en enrobés pour les couches minces.



Figure (I.2): Composition de béton bitumineux (K- SAFIA [1])

I.2. CARACTERISTIQUES DES BETONS BITUMINEUX

Il existe plusieurs types de béton bitumineux, en fonction de l'utilisation que l'on souhaite en faire. Le tableau ci-dessous récapitule les différentes sortes de BB

Tableau (I.1): Les différentes sortes de BB

Appellation abrégée Du BB	Caractéristique	Exemple d'utilisation
BBSG : bétons bitumineux semi-grenus	Couches allant de 5 à 10 cm. Empêche les problèmes d'ornièrè. Résistance élevée face aux efforts.	Utilisation fréquente en trafic réduit
BBME : bétons bitumineux à modules élevés		
BBS : bétons bitumineux souples		
BBM : bétons bitumineux minces	Excellente adhérence. Imperméabilise la chaussée.	Utilisation fréquente pour routes nationales.
BBDR : bétons bitumineux drainants	Excellente adhérence. Baisse significative du bruit de roulement. Excellente adhérence par temps de pluie	Utilisation fréquente pour Autoroute, Voies express, ...etc.
BBTM : bétons bitumineux très minces	Couche de 2 à 3 cm	Chaussée à trafic important et rapide
BBUM : bétons bitumineux ultra minces	Couche de 1 à 1,5 cm	Utilisation pour revêtement urbain

D'autres aspects seront étudiés avant le choix du BB, le climat de la région sera pris en compte pour le choix du futur revêtement :

- le bitume utilisé peut se ramollir si la chaleur est trop forte.
- le béton peut durcir par trop basses températures.
- la pluie ou la neige tassée sont également des critères à prendre en compte, car le BB peut geler et favoriser la formation de verglas.

I.3. COMPOSITION DES BETON BITUMINEUX

Le béton bitumineux est composé de différents éléments :

- 1- gravillons
- 2- sable
- 3- filler
- 4- bitume utilisé comme liant

Le béton bitumineux crée généralement la couche supérieure des chaussées appelée couche de surface.

La bonne résistance des bétons bitumineux dépend des granulats et du liant utilisés, ainsi que du respect des proportions. Ces granulats et liants doivent respecter certaines normes :

- 1- Granulats : EN 13043/2002 AC : 2004 -SN 670 103b
- 2- Filler : SN 670 116
- 3- Bitume :
 - a) EN 12591 1999
 - b) SN 670 150-1
 - c) EN 14023 : 2005 - SN 670 210a

I.3.1. Liants hydrocarbonés :

Les liants hydrocarbonés, qui jouent un rôle important dans la technique routière moderne, sont connus et utilisés depuis longtemps.

On distingue trois familles de liants hydrocarbonés: (B.J.CARLOZZO [6]) (EUROVIA [7]) (USIRF [8])

- **Asphalte:** roche calcaire imprégnée de bitume. Expression qui désigne le revêtement des routes.
- **Bitume:** composé de carbone et d'hydrogène, d'où le nom d'hydrocarbure. Il peut être d'origine naturel ou provenir de la distillation du pétrole.
- **Goudron:** Produit provenant de la distillation de diverses substances: charbon, bois, tourbe. Il est moins soluble que le bitume.

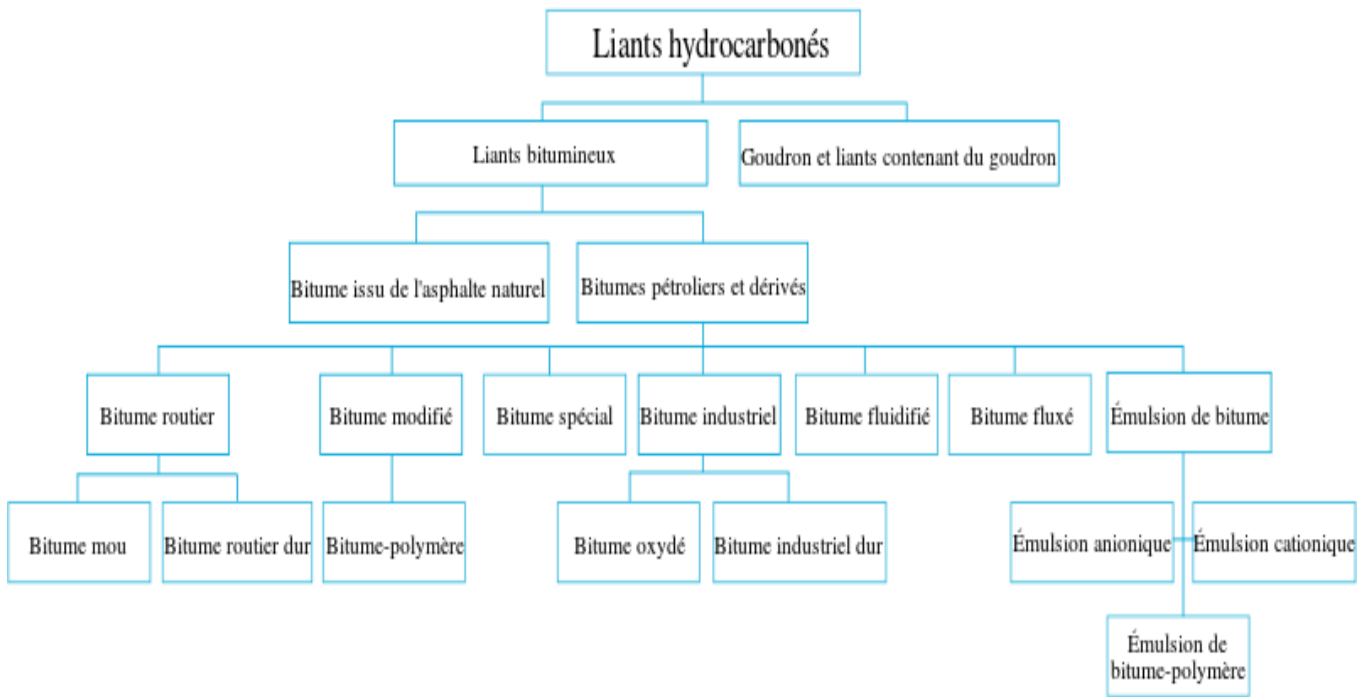


Figure (I.3): Types de Liants hydrocarbonés (K- SAFIA [1])

I. 3.2. Bitume :

Les bitumes sont des sous-produits d'hydrocarbures lourds, résidus noirs de pétrole brut obtenus soit par distillation naturelle, soit par distillation en raffinerie. Les bitumes de distillation directe sont utilisés pour la confection d'enrobés à chaud.

➤ Différents types de bitume :

Le bitume utilisé dans les enrobés confère des propriétés viscoélastiques aux revêtements de chaussées. Un bitume ayant les caractéristiques appropriées assure des performances élevées sur le plan de la résistance à l'orniérage, à la fissuration thermique, à la fissuration de fatigue et à l'arrachement; ces caractéristiques contribuent à la réalisation de revêtements sécuritaires, durables et économiques.

Les types suivants de liants à base de bitume sont :

- ✚ Les bitumes purs
- ✚ Les cut-backs
- ✚ Les bitumes fluxés
- ✚ Les bitumes composés
- ✚ Les bitumes modifiés
- ✚ Les émulsions de bitume

➤ Propriétés mécaniques et rhéologiques du bitume :

Le bitume confère à l'enrobé sa flexibilité et sa capacité à résister à certaines dégradations causées par plusieurs facteurs dont le trafic, les conditions climatiques du site, etc.

A température de service élevée, le bitume doit demeurer suffisamment visqueux afin d'éviter que ne se produise le phénomène d'orniérage.

A l'opposé, à basse température, le bitume doit conserver une certaine élasticité pour éviter le phénomène de fissuration par retrait thermique et la fragilisation de l'enrobé.

Aux températures intermédiaires, il doit être résistant à la fatigue sous l'effet du trafic répété. (K- SAFIA [1])

➤ **Essais de caractérisation des bitumes :**

• **Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF EN 1426) :**

La pénétrabilité à l'aiguille est la profondeur d'enfoncement, exprimée en dixièmes de millimètre, d'une aiguille normalisée de 1 mm de diamètre, sous une charge de 100 g, appliquée pendant 5 s sur un échantillon de bitume maintenu à 25°C [14]

La pénétrabilité est une des deux caractéristiques fondamentales qui permettent de définir un bitume, où est définis par leur classe de pénétrabilité (la pénétrabilité exprimé en 1/10^{ème} de millimètre) dont l'appellation correspond à sa borne inférieure et à sa borne supérieure par exemple un bitume de classe 40/50. Plus un bitume est dur, plus sa valeur de pénétrabilité est faible.

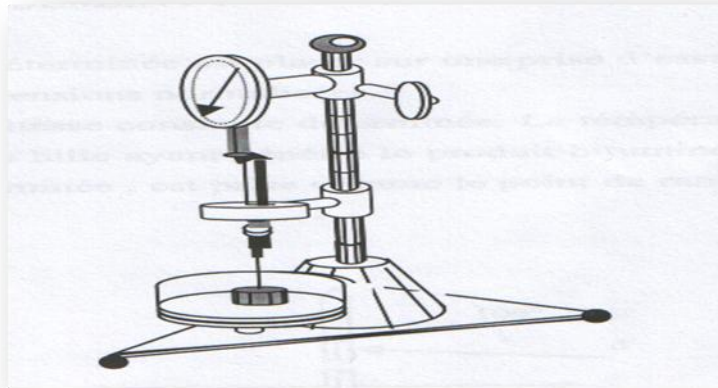


Figure (L.4): Pénétromètre à aiguille(K- SAFIA [1])

• **Point de ramollissement bille et anneau (NF EN 1427) :**

Ce test consiste à déterminer la température pour laquelle la poche de bitume, formée pendant la chute de la bille, touche la plaque de référence placée à 25,4 mm sous l'anneau de bitume. Le bain est chauffé à une vitesse constante de 5 °C/min. [14]

Le point de ramollissement est la deuxième caractéristique fondamentale d'un bitume. Dans cet essai, plus le point de ramollissement est élevé plus le bitume est dur.

$T_{\text{début}} = 5^{\circ} \text{C}$

$T_{\text{fin}} = \text{mesurée } ^{\circ} \text{C}$

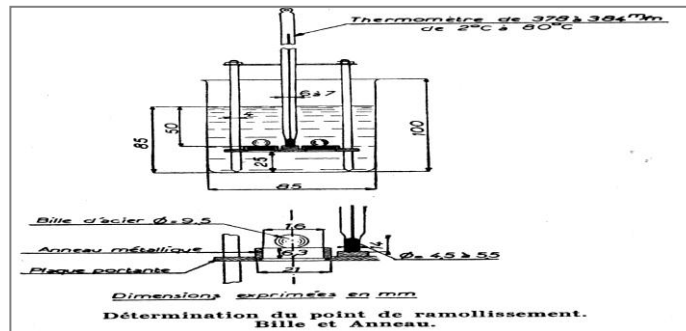


Figure (I.5) : Mesure de la température de ramollissement Bille et Anneau (K- SAFIA [1])

I.4. COMPOSANTS MINÉRAUX

Les composants minéraux constituent environ 95% de la masse d'un enrobé bitumineux (80-85% du volume). Cette prépondérance des matériaux granulaires dans le mélange a une influence sur les caractéristiques mécaniques et sur les performances du matériau bitumineux.

Les granulats sont l'ensemble des sables, gravillons ou pierres concassées qui proviennent du creusement d'un gisement ou d'une extraction à partir d'une roche mère compacte. Les granulats sont utilisés soit comme matériaux en vrac, soit après transformations (Criblage, concassage, tamisage, dépoussiérage, lavage...).

Les granulats sont désignés par d et D, qui représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions demandées.

I.5. FORMULATION DES BETONS BITUMINEUX

Formuler un enrobé hydrocarboné, est de déterminer le meilleur mélange de granulats de diverses dimensions et d'un liant (le bitume) permettant d'atteindre des performances visées: imperméabilité, rugosité, résistance mécanique (à l'orniérage et la fatigue). Donc l'objectif de formulation est de déterminer un mélange de différentes classes granulaires qui constitue un squelette granulaire ayant un pourcentage de vides ni trop faible ni trop élevé. Un faible pourcentage de vide empêche l'introduction d'une quantité du liant suffisante pour enrober l'ensemble des grains sans saturer le mélange, et un pourcentage de vides élevé favorise le développement des déformations permanentes par post-compaction.

I.6. PARAMETRES INFLUENÇANT LE CHOIX D'UNE FORMULATION

Les principaux caractères consiste à choisir les granulats, le liant et les ajouts utilisés pour la fabrication de l'enrobé. Ceci sur la base des considérations suivantes ; (G.JEUFFROY, R.SAUTEREY [9] , (LES EDITIONS LE GRIFFON D'ARGILE, MISE A JOUR 2002 [10])

- ✓ **Trafic** : volume, pourcentage de poids lourds, charge par essieu
- ✓ **Climatologie** : pluviométrie, gel-dégel, température, ensoleillement
- ✓ **position de la couche** : roulement, base, fondation liée
- ✓ **fonction de la couche** : adhérence, perméabilité, bruit, orniéage, etc.

a) Méthodologie de formulation en Algérie :

La formulation en Algérie est basée sur la vérification des caractéristiques des composants ainsi que sur les essais Duriez et Marshall en fonction des matériaux granulaires. On choisit une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait donner une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné. Les fractions granulaires sont choisies parmi les suivantes : 0/3, 3/8, 8/15, les caractéristiques des granulats sont représentés comme suit.

- ✓ Fuseau granulométrique :

Tableau (I.2): Fractions granulaires 0/14 des BB

Passant Tamis (mm)	BB 0/14
20	/
14	94-100
10	72-84
6.3	50-66
2	28-40
0.08	7-10

b) Détermination de la teneur en bitume :

La teneur en liant TL est le rapport de la masse du liant, à la masse des granulats secs, exprimé en pour cent. Duriez a établi une formule pour déterminer la teneur en bitume des enrobés en fonction de la surface spécifique du mélange sec [4] :

$$TL = K \times \alpha \times 5\sqrt{\Sigma} \dots\dots\dots (1.1)$$

K : module de richesse est un coefficient proportionnel à l'épaisseur conventionnelle du film de liant enrobant le granulat varier entre 3,50 et 5 selon le type d'enrobés.

(J.ARRAMBIDE, M.DURIEZ [11])

α : coefficient correcteur

Ce coefficient permet de tenir en compte la masse volumique réelle des granulats.

$\alpha = 2,65 / Mv$ où **Mv**: la masse volumique des granulats utilisés.

Σ : surface spécifique conventionnelle du mélange en m²/kg

$\Sigma = (0,25 G + 2,3 S + 12 s + 135 f) / 100$

G: surface spécifique des éléments > 6,3 mm

S: surface spécifique des éléments compris entre 0,315 et 0,063 mm

s: surface spécifique des éléments compris entre 0,315 et 6,3 mm

f: surface spécifique des fines < 0,063 mm

I.7. LA COMPACTITE

La compacité "C" est une conséquence directe de la formulation [9])

$$\text{Compacité \% : } C = 100 - V \% \dots\dots\dots(1.2)$$

Pour ce calcul, il faut connaître la densité apparente de l'éprouvette, la densité du bitume, la densité de chacun des agrégats, les pourcentages en poids de chacun des constituants rapportés à 100(liant et filler compris). Soit :

γ_{app} : la densité apparente de l'éprouvette

γ_b : la densité du bitume

γ_{G1} : la densité de l'agrégat 1

$\gamma_{G2}, \gamma_{G3}, \dots$ celles des agrégats 2, 3...etc

P_b : le pourcentage en poids du bitume

$P_{G1}, P_{G2}, P_{G3} \dots$ ceux des agrégats

Donc la densité réelle γ_{rel} du matériau enrobé est :

$$\gamma_{rel} = 100/(P_b / \gamma_b) + (P_{G1}/ \gamma_{G1}) + (P_{G2}/ \gamma_{G2}) + \dots\dots\dots(1.3)$$

Le pourcentage volumétrique des vides V_v de l'éprouvette est :

$$V_v = 100/ (\gamma_{rel} - \gamma_{app})/ \gamma_{rel} \dots\dots\dots(1.4)$$

La compacité C : $C = 100 - V_v \dots\dots\dots(1.2)$

Une bonne compacité conditionne les performances mécaniques des enrobés et leur durée de vie. La compacité est influencée par la nature et la forme des granulats. Elle joue un rôle déterminant dans l'obtention de bonnes caractéristiques mécaniques : module de rigidité, comportement en fatigue, mais un compromis doit être fait pour que le comportement à l'orniérage soit satisfaisant.

En modulant ces différents paramètres, il est ainsi possible de formuler un enrobé ayant les caractéristiques nécessaires pour l'usage et pour sa place dans la chaussée.

Pour une couche de roulement, les granulats seront anguleux et la courbe granulométrique sera le plus souvent discontinue mais l'enrobé devra être imperméable.

I.8. PROPRIETES MECANIQUES DES BETONS BITUMINEUX

Pour connaître les propriétés mécaniques d'un enrobé bitumineux ; on fait un essai ou le plus souvent une série d'essais normalisés [12].

I.8.2. Essai Duriez (Essai de compression simple type LCPC) (NF P9-251-1) :

Cet essai est réalisé sur une éprouvette cylindrique d'enrobé bitumineux de poids et de section bien déterminés. Celle ci est soumise à une compression statique.

Les éprouvettes ainsi confectionnées sont conservées :

- Les unes à 18°C pendant une durée de sept jours dans l'air
- Les autres à 18°C pendant une durée de sept jours dans l'eau.

Les éprouvettes sont écrasées à 18°C au huitième jour et l'on obtient:

- La résistance des éprouvettes conservées à l'air pendant une durée de sept jours **R**
- La résistance des éprouvettes conservées dans l'eau pendant une durée de sept jours **r**
- Le rapport **r/R** appelé "rapport d'immersion/compression" traduit en quelque sorte la

tenu à l'eau de l'enrobé bitumineux. C'est un moyen pour apprécier d'une façon indirecte l'adhésivité du bitume aux granulats.

Cet essai nous permet également de mesurer la compacité LCPC qui est très souvent prise comme compacité de référence sur chantier.



Figure (I.7): Machine d'essai Duriez

I.9. LES SABLES DE DUNES

I.9.1. Définition :

Les sables sont composés de particules siliceuses de taille et de dimensions variées accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur variable, voir (Fig. I.8)



Figure (I.8): Dunes de sable

I.9.2. Identification des sables de dunes du Sahara :

- **Composition chimique**

Ce sont des sables dont la composition chimique est très simple : plus de 95% de silice, de 1 à 2% de calcaire et des traces de différents oxydes. Du fait de cette constitution, le sable à une couleur blanche légèrement jaune et ocre, il se dessèche et perd facilement sa cohésion en surface [13].

- **Granulométrie**

Le diamètre des plus gros éléments des sables des dunes du Sahara est de l'ordre de 0,5mm. Il est maximal aux endroits les plus proches de la roche mère et diminue de plus en plus quand on s'en éloigne. Les particules deviennent aussi de plus en plus arrondies. Le diamètre des éléments les plus fins est de l'ordre de 0,04mm.

Le coefficient d'uniformité ($C_u = D_{60}/D_{10}$) est de l'ordre de 1,8 et le coefficient de courbure ($C_c = D_{30}^2/[D_{10}.D_{60}]$) est de l'ordre de 10. Il s'agit donc d'un sable très fin mal gradué [13].

- **Propreté**

Le sable de dunes ne contient pratiquement pas de traces d'argile. Il a une limite de liquidité WL de l'ordre de 25 et une limite de plasticité non mesurable. La valeur de l'équivalent de sable est supérieure à 60 %. La valeur du bleu est de l'ordre de 0,1.

- **Comportement mécanique**

Des essais de compactage puis de cisaillement direct ont été réalisés par Ould Sid et al. [13]. Les principaux résultats trouvés sont:

- l'effet de la teneur en eau sur le compactage est peu significatif quand la teneur en eau est faible (0 à 6%)

- la cohésion a une valeur très faible, de l'ordre de 5 kPa
- l'angle de frottement interne varie de 30 à 35° selon la densité du sable.

Les valeurs de ces paramètres montrent que le sable de dune peut avoir un bon comportement mécanique même lorsque sa compacité est faible, à condition d'être à l'abri du vent. Par ailleurs, l'indice portant CBR de ces sables, au poids volumique et à la teneur en eau de l'optimum Proctor modifié, est relativement faible. Il est de l'ordre de 10%. C'est ce qui permet, entre autres, d'écarter toute possibilité d'utilisation de ces sables seuls en corps de chaussée.

I.9.3. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :

L'utilisation des sables en technique routière n'est pas nouvelle. A l'époque déjà, les ingénieurs avaient recours à l'utilisation du sable mélangé à un liant hydrocarboné en particulier pour les couches de roulement [14]. Beaucoup d'études et des réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière de sables a été publié par Chauvin [13].

CONCLUSION

Comme nous avons vu précédemment le béton bitumineux est constitué de deux éléments principaux ; les granulats et le bitume.

La liaison entre ces deux composants est très complexe et pour formuler un enrobé convenable plusieurs critères sont à prendre en considération telle que le trafic, les conditions climatiques et les matériaux existants...etc.

Le mélange bitume-agrégat obtenu doit avoir:

1. suffisamment de bitume pour donner un pavage durable
2. une stabilité suffisante pour satisfaire les exigences de trafic
3. suffisamment de vides pour pallier aux phénomènes d'expansion liés aux propriétés spécifiques du bitume (dilatation thermique)
4. une maniabilité suffisante pour permettre une mise en place efficace du mélange.

CHAPITRE II

APERÇU SUR LES DECHETS PLASTIQUES

CHAPITRE II

APERÇU SUR LES DECHETS PLASTIQUES

II.1. DEFINITION

Le plastique, ou une matière plastique est une substance polymère contenant un grand nombre d'atomes (ou groupes) de carbone, oxygène, hydrogène ou azote. Une matière plastique est souvent obtenue par la transformation du pétrole ou du gaz naturel.

De nos jours, on compte plus de cinquante différentes familles de plastique dans l'industrie et chaque famille peut avoir des douzaines de variations.

On peut regrouper les matières plastiques en deux catégories :

- **Les thermoplastiques** : Les thermoplastiques fondent sous l'effet de chaleur et se solidifient sous l'effet d'un refroidissement.

- **les thermodurcissables** : Pour les thermodurcissables, la transformation est irréversible. Une fois formé, le plastique ne se déforme plus.

- Les déchets plastiques ont des origines diverses: déchets de la transformation, emballages usagés de l'industrie et des centres de grande distribution, déchets de démolition [2,5]

II.2. CONSTITUTION CHIMIQUE

Le plastique est constitué de chaînes de polymères de polyéthylène liées après polymérisation.

On appelle polymérisation la réaction chimique, ou le procédé, permettant la synthèse d'un polymère à partir de monomères, c'est à dire après combinaison à d'autres monomères de même nature ou de nature différente lors d'une réaction chimique appelée réaction de polymérisation.

On obtient alors des polymères (très longues chaînes macromoléculaires formées de plusieurs monomères assemblées entre elles). Il existe deux sortes de polymérisation:

La polyaddition et la polycondensation.

- **La polyaddition** : est une succession d'additions de molécules identiques c'est à dire une succession de monomères.

- **Polycondensation** : est une réaction de polymérisation durant laquelle de petites molécules (H₂O ou HCl par exemple) sont éliminées lors de la réaction entre les monomères. [3]



Figure (II.1): Recyclage de plastique (SCHROLL [17])

II.3. LE RECYCLAGE

Le recyclage et le réemploi permettent d'économiser une grande quantité d'énergie primaire, notamment du pétrole, la principale matière première de la plupart des matières plastiques. [3]

Le principe du cycle selon lequel la matière est constamment réutilisée, n'est pas une découverte récente. La nature l'applique déjà depuis des milliards d'années, et avec succès.

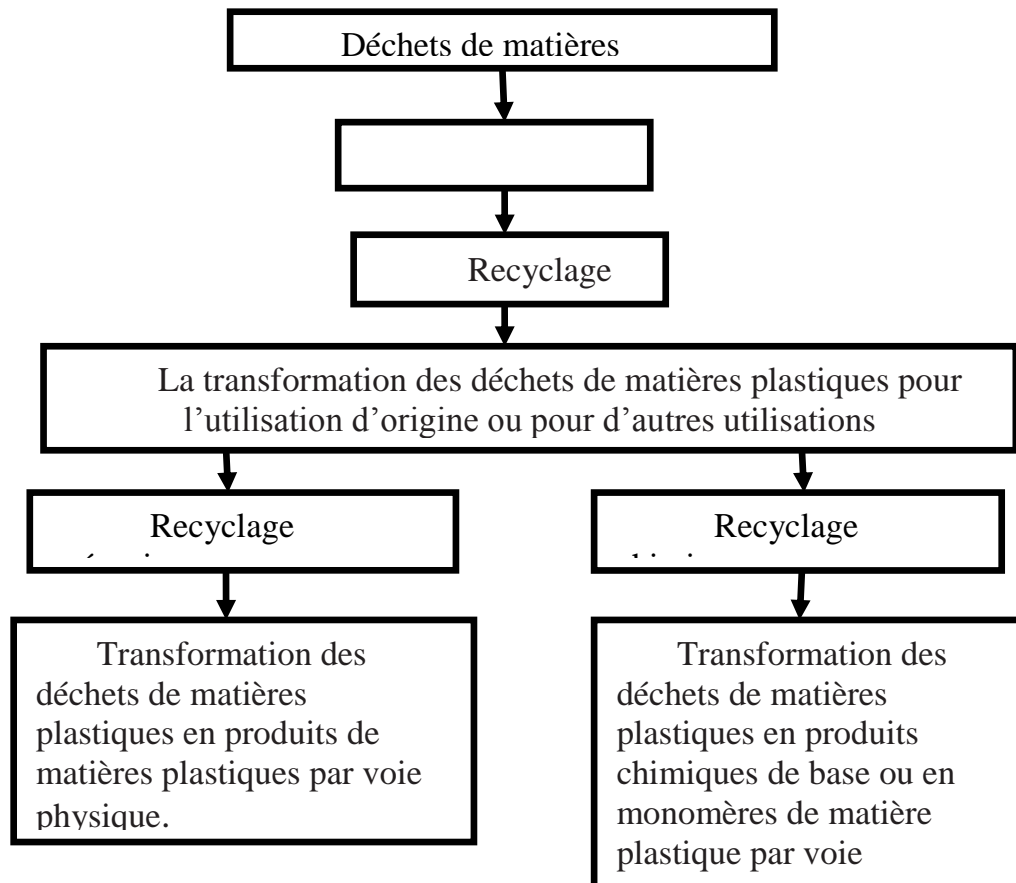


Figure (II.2): Méthode de Recyclage des plastiques

II.4. EXEMPLES DE TRAITEMENT

II.4.1. La valorisation matière :

Le recyclage mécanique et thermique permet la réutilisation réversible de la matière plastique issue de déchets.

Cela consiste à refondre la matière pour fabriquer des granulés ou des poudres de plastique qui seront commercialisés sous la même forme que les résines vierges. Cette méthode de « régénération » nécessite un taux d'impureté très faible (moins de 0,01%) et une composition d'une seule résine (évite les problèmes de compatibilité lors du traitement à température). [5]

II.4.2. La valorisation chimique :

Principalement utilisée pour le PET, elle consiste à décomposer les macromolécules constitutives des polymères, en matières premières réutilisables, sous l'effet de la chaleur et/ou d'un composé chimique.

On retourne ainsi aux constituants chimiques de base qui vont permettre de produire un matériau dont les propriétés sont très proches du matériau d'origine.

II.4.3. La valorisation énergétique :

Le pouvoir calorifique des plastiques est quasi identique à celui du pétrole et du charbon. Ce sont donc des matières combustibles intéressantes, sous réserve de la mise en œuvre d'équipements spécifiques à la récupération d'énergie et au traitement des fumées dégagées.

II.5. CONCLUSION

Les polymères sont des ajouts largement utilisés dans le domaine routier grâce à leur efficacité et leur avantage qu'ils fournissent aux enrobés bitumineux.

Le polymère est un domaine vraiment très vaste ; A travers ce chapitre, nous avons essayé de cerner les grands ensembles traitant les polymères tels que leur types et composition chimique.

CHAPITRE III

CARACTERISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

CHAPITRE III

CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS

III.1. INTRODUCTION

La qualité des matériaux utilisés influent grandement sur le comportement mécanique des enrobés. Les principaux éléments ayant la plus grande influence sur la résistance mécanique sont :

- ✓ Les caractéristiques intrinsèques des granulats
- ✓ Le squelette minéral
- ✓ La teneur en liant
- ✓ Le type de liant

Tous ces éléments doivent être analysés par le concepteur afin de proposer un mélange correspondant aux caractéristiques optimales en termes de résistance mécanique et de susceptibilité thermique. Dans nos expériences, on a utilisé les matériaux suivants.

III.2. LES BITUME

Le liant hydrocarboné utilisé dans ce projet provient des fondoirs de la centrale d'enrobage de la société Total sise à Ouargla. Il s'agit de déterminer la classe du liant à partir les essais de caractérisation; Ils s'agit des essais de pénétrabilité à l'aiguille à 25°C et l'essai de ramollissement bille et anneau ainsi que la densité relative.

•Après réalisation des essais d'identification des bitumes au niveau du laboratoire LTPS d'Ouargla, on a obtenu les résultats suivants :

Tableau (III.1) : Caractéristiques du bitume utilisé (TOTALE)

Essai	Résultat	Spécifications
Pénétrabilité 25°C (0.1 mm)	41	40 à 50
Ramollissement bille (°C)	49	47 à 60
Densité relative	1.006	1.00 à 1.10

❖ D'après ces résultats on peut dire que notre liant est un bitume pur de classe 40/50

III.3. GRANULATS

III.3.1. Présentation des granulats :

Les granulats utilisés dans ce projet sont :

- ✓ Pour notre étude nous avons utilisé le sable de dunes de la région de **HASSI MESSAOUD** wilaya d'Ouargla.
- ✓ Gravier 3/8 et 8/15 provenant de la carrière d'Ain Toùta willaya de Batna

III.3.2. Analyse granulométrique (NFP 18-560) :

L'objectif : Cet essai a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leurs dimensions ou grosseurs pour les granulats supérieurs au diamètre 0,08mm.

Les résultats de l'analyse granulométrique de sable utilisé et des différentes fractions granulaires sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau (III.2) : Pourcentages des tamis cumulés pour les classes granulaires

Φ tamis (mm)	Classe granulaire		Sable de dunes
	3/8 (%)	8/15 (%)	
20	-	100	-
16	-	99	-
12.5	-	63	-
10	100	28	-
8	99	5	-
6.3	81	1	-
5	49	0	-
4	22	0	-
3.15	9	0	-
2.5	3	0	-
2	1	0	-
1.60	0	0	-
1.25	2	0	100
0.63	0	0	99
0.315	0	0	75
0.60	0	0	17
0.08	0	0	2

❖ Présentation les résultats par des courbes granulométrique

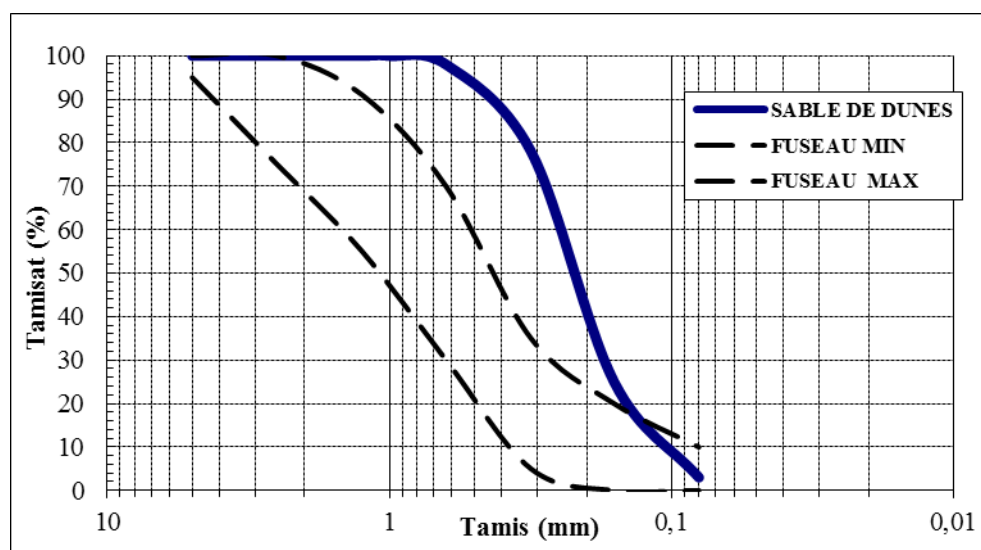


Figure (III.1) : Analyse granulométrique des sables naturels utilisés

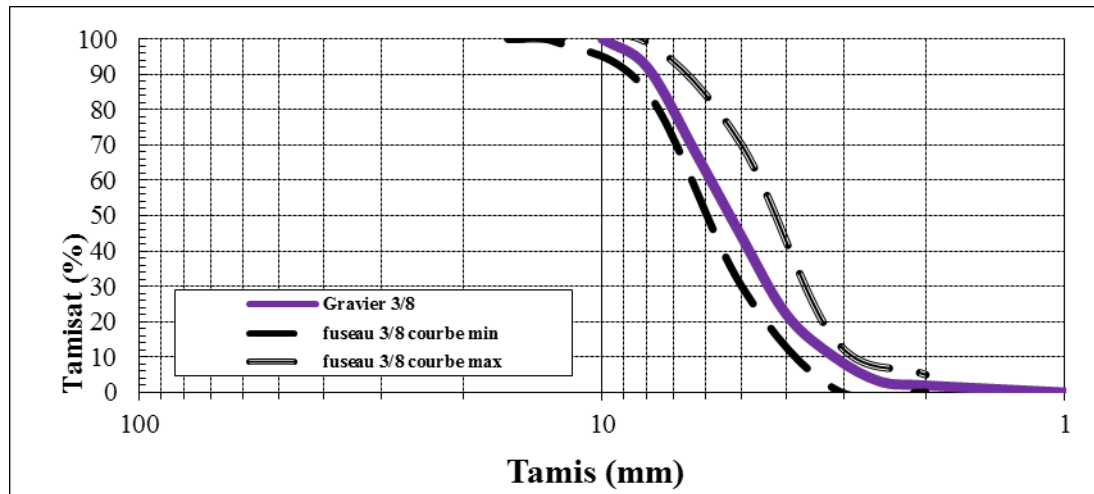


Figure (III.2) : Analyse granulométrique des graviers 3/8

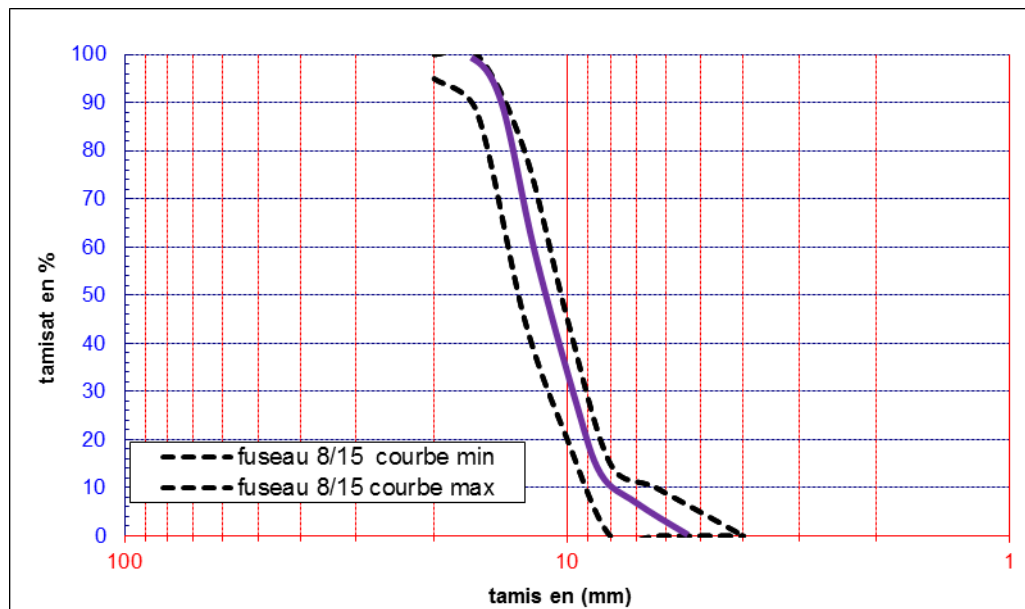


Figure (III.3) : Analyse granulométrique des graviers 8/15

III.3. 3. Analyse chimique (NF 15-461) :

D'après l'analyse chimique sommaire réalisée au LTPS d'Ouargla nous constatons la dominance des insolubles pour le sable de dune et les carbonates pour les graviers. L'analyse consiste à déterminer le taux des composants suivants ;

- ✓ Les insolubles
- ✓ Les carbonates CaCO_3
- ✓ Les chlorures Na Cl
- ✓ Les sulfates CaSO_4

Ces essais sont effectués afin de vérifier l'efficacité et la compatibilité de ces granulats entre eux et le liant utilisé

Le tableau suivant récapitule les résultats de l'analyse chimique effectuée sur les échantillons des différentes classes granulaires :

Tableau (III.3) : Analyse chimique sommaire des granulats

Echantillon	Sable de la dune (%)	Gravier 3/8 (%)	8/15 (%)
Insolubles	95.55	3.76	3.82
Sulfates (SO ₃)	0.35	0.41	0.45
Chlorures (NaCl)	0.04	0.07	0.07
Carbonates (CaCO ₃)	1.89	85,22	83,7

Remarque :.....

III.3.4. Propreté des granulats :

➤ Essai de propreté superficielle :

Tableau (III.4) : Propreté superficielle des granulats (TBS [16])

Echantillon	Propreté superficielle (%)	Spécifications
3/8	0.95	≤ 2
8/15	0.73	≤ 2

➤ Essai d'équivalent de sable (norme NF P 18 598) :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable effectué sur une fraction 0/5 mm du matériau à étudier.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout au bout de 20 minutes on mesure les éléments suivants :

a. hauteur h1 : sable propre + éléments fine (floculant).

b. hauteur h2 : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable où on peut utiliser un piston comme la figure ci-dessous montre:

$$ESV = 100. h2 / h1.....(2.1)$$

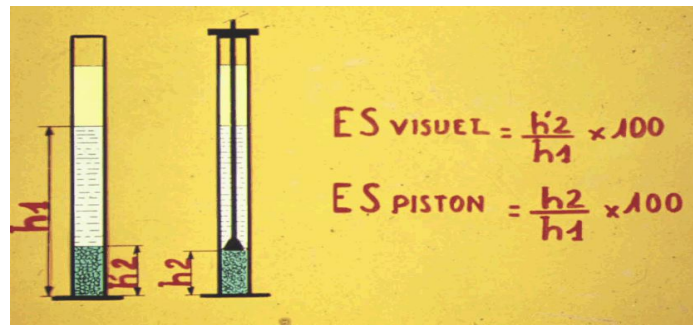


Figure (III.4) : Equivalent de sable

Tableau (III.5) : Equivalent de sable

Classe granulaire	E.S	Spécifications
Sable de dune	94.16	≥ 45

III.3.5. Mesure des poids spécifiques des granulats :

III.3.5.1. La masse volumique :

a. **Masse volumique absolue** : est la masse par unité du volume de la matière qui constitue le sable, sans tenir compte des vides qui peuvent prendre place entre les grains. La formule qui permet de calculer ce paramètre est :

$$\gamma_s = \frac{M}{V_s} \dots \dots \dots (2.2)$$

Tels que:

γ_s : La masse volumique absolue (g/cm³)

M : La masse de l'échantillon (g)

V_s : Le volume absolu de l'échantillon (cm³)

b. **Masse volumique apparente norme (NFP 94-064)** : par définition la masse volumique d'un échantillon est le quotient de sa masse M par son volume V_a qu'il occupe :

$$\gamma_a = \frac{M}{V_a} \dots \dots \dots (2.3)$$

γ_a : La masse volumique apparente (g/cm³)

M : La masse de l'échantillon (g)

V_a : Le volume apparent de l'échantillon (cm³)

Les résultats se résument dans le tableau suivant pour le sable utilisé :

Tableau (III.6) : Masse volumique absolue et apparente des sables utilisés

Type d'agrégats	γ_a (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)
-----------------	---------------------------------	---------------------------------

Sable de dune	1.68	2.60
Gravier 3/8	1.53	2.68
Gravier 8/15	1.59	2.67

III.3.5.2. Essai Proctor Modifié :

Tableau (III.7). Résultats de mesures (TBS [16])

W (%)	6,2	8,1	10,2	12,2
Densité (t/m³)	1,56	1,59	1,61	1,55

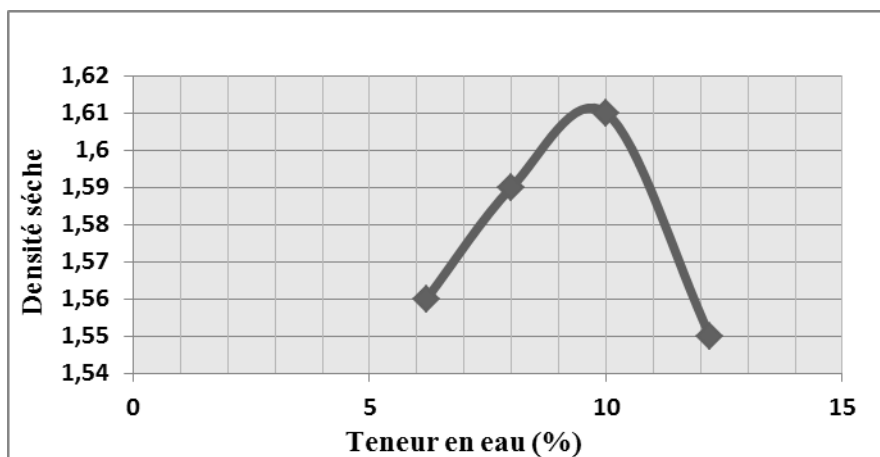


Figure (III.5) : Courbe Proctor

❖ D'après la courbe on trouve

$$\gamma_{dmax} = 1.61 \text{ (t/m}_3\text{)}$$

$$w_{op} = 9.8\%$$

III.3.6. Essai de résistance à l'usure et au choc :

III.3.6.1. Mesure du coefficient Micro Dévalé en présence d'eau :

L'essai consiste à mesurer, dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produits par frottement mutuels, en présence d'eau avec une charge abrasive, dans un cylindre en rotation. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant

Tableau (III.8) : Coefficients micro Deval (TBS [16])

Classes granulaire	MDE
Gravier 3/8	21.5
Gravier 8/15	19.5

III.3.6.2. Mesure du coefficient los Angeles :

L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1.6mm. Produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50mm) que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés. Dans le cylindre de la machine los Angeles en 500 rotations. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau (III.9) : Coefficients Los Angeles des granulats (TBS [16])

Classe granulaire	Los Angeles
3/8	24.15
8/15	24

III.3.7. Analyse des résultats :

Après analyse des différents agrégats nous avons conclu que le sable de dunes est un sable très propre, fin, de granulométrie serrée, de 95,55% d'insolubles. Dans l'ensemble, nous avons des granulats qui présentent des caractéristiques qui sont conformes aux normes et aux spécifications à savoir un poids spécifique satisfaisant, des gravillons propres et présentant un bon comportement à l'usure et au choc. Et un équivalent de sable acceptable.

III.4. POUDRETTE PLASTIQUE UTILISEE

La matière polyéthylène basse densité (PEBD) et haute régénérée destinée à la transformation, la fabrication et a divers usages domestiques, techniques, hydrauliques et agricoles.

Le polyéthylène utilisé dans ce projet c'est un polyéthylène basse densité présente les caractéristiques suivantes.



Figure (III.6) : poudrette plastique

III.4.1. Caractéristiques physiques :**Tableau (III.10) :** Caractéristiques physiques de la poudre utilisée

Caractéristique physique	Résultat
Allongement a la rupture	900
Allongement a la rupture transversale	1100
Résistance à la traction longitudinale	225kg/cm ²
Résistance à la transversale	140kg/cm
Dart test	400grs
Module d'élasticité	1900gr/cm ²
Grade (melt, flow, index)	0.35 à 0.45
Rétractabilité a chaud longitudinale	75%
Rétractabilité a chaud transversale	25%

CHAPITRE IV
ESSAIS REALISÉS ET
DISPOSITIFS
EXPERIMENTAUX

CHAPITRE IV

ESSAIS REALISES ET DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

IV.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons exposer l'étape expérimentale par la réalisation les deux essais mécaniques l'essai Marshall et l'essai Duriez sur le béton bitumineux.

Ces essais ont pour but de juger la validité de notre choix des mélanges sélectionnés précédemment et ceci par la détermination les performances mécaniques de chaque mélange. L'étude expérimentale déroulée dans cette thèse montrée dans le schéma

Ci-dessous:

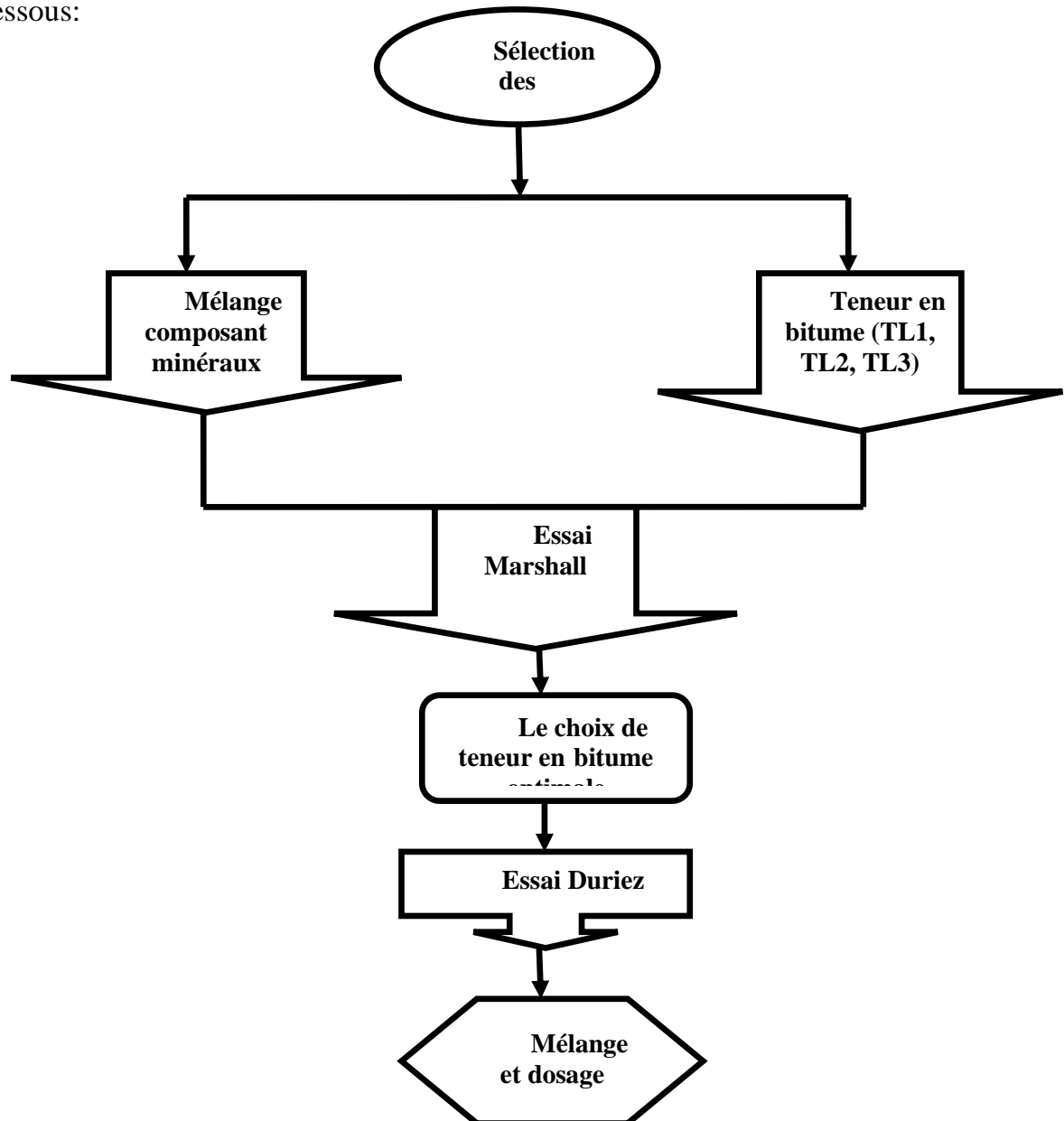


Figure (IV.1) : Etape de formulation

IV.2. CONFECTION DES EPROUVETTES

Les éprouvettes sont confectionnées suivant le type d'essai soit Marshall ou Duriez.

IV.2.1. Préparation des mélanges :

La fabrication de mélange de béton bitumineux au niveau du laboratoire a été réalisée conformément à la norme NFP 98-250-1 soit pour l'essai Marshall ou pour l'essai Duriez.

IV.2.1.1. Préparation des agrégats :

Chacune des types des agrégats entrant dans la composition du mélange hydrocarboné est prélevée selon la norme P18-553 « préparation d'un échantillon pour essai ».

Les différents agrégats sont chauffés dans récipient sur une étuve à une température de l'essai 160°C.

IV.2.1.2. Préparation du liant :

Une quantité de liant correspondant aux besoins de l'essai est prélevée sans dépasser 100°C. Le liant prélevé est placé dans un récipient remplis et fermé. La mise en température du liant est effectuée en deux phases :

1- Le récipient rempli et fermé, placé en étuve, est porté à la température de référence -0°C, + 10°C en moins de 5h.

(Dans notre étude la température de référence de bitume 40/50 était entre 160°C et 170°C).

2- Le récipient est placé sur une plaque chauffante et son contenu est agité constamment pour homogénéiser sa température, et le maintenir à sa température de référence. Cette opération ne doit pas se prolonger plus de 10mn.

3- La température de référence de préparation des mélanges est définie suivant la catégorie de liant hydrocarboné utilisée comme suit (NFP 98-250-1[47]):

- Bitume 80/100 : 140°C ± 5°C
- Bitume 60/70 : 150°C ± 5°C
- **Bitume 40/50 : 160°C ± 5°C**
- Bitume 20/30 : 180°C ± 5°C



Figure (IV.2): Etuve utilisé dans cette étude

IV.2.1.3. Malaxage :

La cuve contenant les agrégats à mélanger est installée sur le malaxeur en essayant de limiter au maximum les déperditions de température. Le malaxeur (voir la Figure (IV.3)) est actionné pendant $30 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ afin de bien homogénéiser les sables.

Le liant est versé. La masse de liant ne doit pas dépasser de plus de 1% en valeur relative la masse de liant théorique sinon la gâchée est rejetée. La durée de malaxage doit conduire à un mélange visuellement homogène donc la durée totale du malaxage est comprise entre 2 et 3 mn.

Après la fin de malaxage, le mélange doit être utilisé immédiatement avant le refroidissement sinon la gâchée est rejetée.

La masse du bitume se calcule à partir de la masse des agrégats comme l'indique la formule suivante:

$$ML = (MA \times TL) / 100 \dots \dots (4.1)$$

Où :

ML : la masse de bitume utilisé

MA : la masse de mélange des agrégats utilisés

TL : la teneur en bitume utilisé dans un mélange (en %).

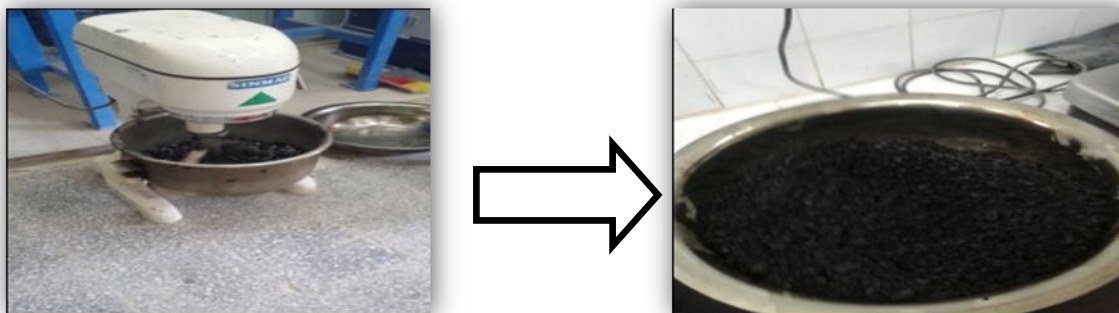


Figure (IV.3): Opération de malaxage

IV.2.2. Confection des éprouvettes pour l'essai Marshall (NFP 98-251-2) :

Comme dans les autres méthodes d'analyse, l'éprouvette de Marshall est déterminée par confection d'une éprouvette cylindrique (Figure (IV.4)), d'une masse indicative de 1200 g, de 105 mm de diamètre et de 63,5 mm de hauteur théorique.



Figure (IV.4): Exemple d'éprouvettes Marshall

IV.2.2.1. Remplissage des moules et compactage :

On pèse une quantité égale 1200 g de mélange à 0,1% prés en valeur relative. Après avoir placé un disque de papier en fond de moule, les moules sont portés à la température de référence de préparation des éprouvettes 2 h au minimum, et on mit en place la hausse puis on introduire le mélange en une seule fois dans le moule légèrement enduit d'oléate de soude glycérimé Figure (IV.5) .

Ensuite, on place le deuxième disque de papier sur le mélange. Mettre les moule de l'appareil de compactage on compacte le mélange 50 coups de marteau de la dame en 55 ± 5 s (voir la Figure (IV.6)).

On démonte et remonte le moule en intervertissant la base et la hausse et on répète à nouveau le damage. Le nombre total des coups est 100 coups.

Le moule est conservé 5h au moins à température ambiante (15 à 25° C) après leur compactage.



Figure (IV.5): Remplissage du moule



Figure (IV.6): Opération de compactage

IV.2.2.2. Démoulage :

Après refroidissement les moules et pour les démouler, on fait passer l'éprouvette dans la hausse en s'aidant du piston extracteur et de la presse comme la Figure (IV.7) ci-dessous explique ce démarche :

La confection des autres éprouvettes se fait avec les mêmes étapes précédentes.

Quand les éprouvettes sont prêtes, on commence le déroulement de l'essai Marshall qui on détermine de celui-ci les paramètres suivants :

- La densité apparente de l'éprouvette
- La densité vraie ou théorique (absolu) de l'éprouvette
- Compacité de l'éprouvette
- % des vides résiduels ou vides de l'éprouvette
- % des vides occupé par l'air et le bitume (vide de l'agrégat)
- % des vides comblés par le bitume
- Déformation ou fluage Marshall en mm
- Stabilité Marshall en Kg

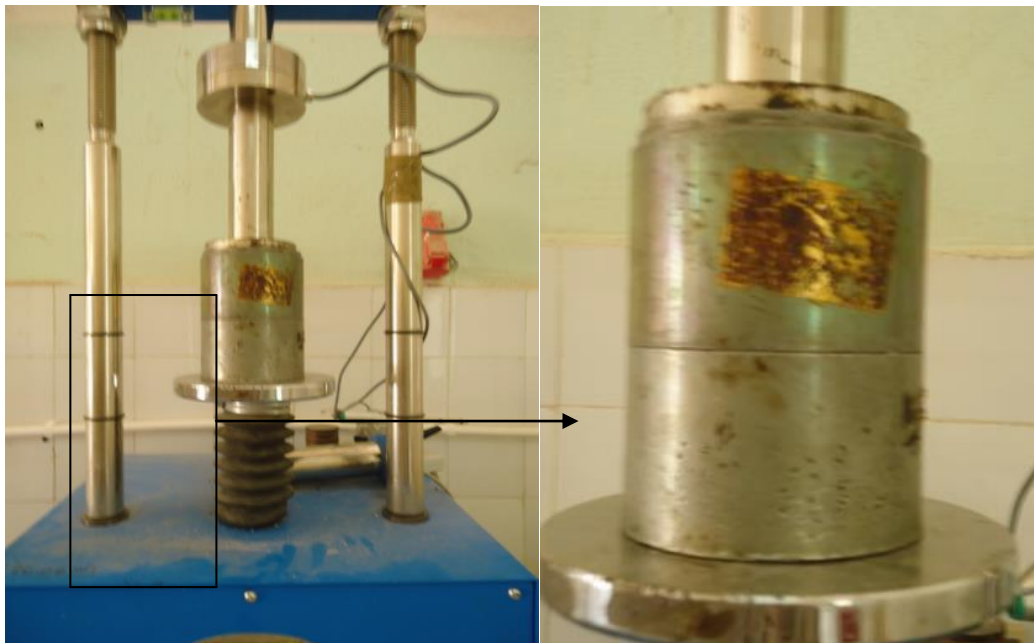


Figure (IV.7): Opération de démoulage des moules

IV.2.3. Confection des éprouvettes pour l'essai Duriez (NFP 98-251-1) :

L'éprouvette de Duriez est déterminée par confection d'une éprouvette cylindrique Figure (IV.8) , d'une masse indicative de 1000 g, de 80 mm de diamètre et de 190 mm de hauteur.



Figure (IV.8): Exemple des éprouvettes confectionnées de l'essai Duriez

IV.2.3.1. Remplissage des moules et compactage :

Un piston est placé à la partie inférieure du moule. On introduit le mélange en une seule fois dans le moule très légèrement enduit d'oléate de soude glycéринé (les moules sont portés à la température de référence de préparation des éprouvettes 2 h au minimum) avant l'opération. Figure (IV.9) Les moules pleins sont ensuite introduits dans une étuve dont la température à proximité à la température de référence ; ils doivent y séjourner entre ½ h et 2 h.

On ajuste le cylindre plein et on porte le tout entre les plateaux de la presse. Le compactage des éprouvettes doit être réalisé par double effet (les opérations doivent être menées de manière à éviter au maximum les déperditions de température). On maintient la pression cinq minutes sachant que la charge appliquée est de l'ordre $60 \text{ KN} \pm 0,5\%$. Figure (IV.10) Les éprouvettes sont conservées couchées dans leur moule au minimum 4 h jusqu'à retour à la température ambiante, puis elles sont démoulées.



Figure (IV.9): Remplissage du moule

IV.2.3.2. Démoulage :

Le démoulage se fera à l'aide de la presse. Les éprouvettes extraites sont réparties en deux lots, les éprouvettes de premier lot (sont au nombre de 2) sont destinées pour déterminer la densité apparente et les éprouvettes de deuxième lot sont destinées pour l'essai de résistance à la compression. Les éprouvettes de deuxième lot sont réparti comme suit : deux éprouvettes se font sans immersion et les deux autres se font avec immersion le tout sont placées dans une armoire spéciale à $18^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 7 jours.

Les paramètres issus de cet essai sont :

- La densité apparente de l'éprouvette
- La densité vraie ou théorique (absolu) de l'éprouvette
- Compacité de l'éprouvette
- % des vides résiduels ou vides de l'éprouvette
- % des vides comblés par le bitume
- La résistance à la compression " r " après immersion 7 jours à 18°C en Kg/cm^2
- La résistance à la compression " R " avant immersion à 18°C en Kg/cm^2
- Le rapport " r/R "
- Le pourcentage d'imbibition W



Figure (IV.10): Opération de démoulage des moules

IV.3. ÉQUIPEMENTS ET PROCEDURES D'ESSAIS

IV.3.1. Essai Marshall :

Le concept de l'essai Marshall était développé par Bruce Marshall en 1948 au Mississippi State Highway Département, USA.

Cet essai permet de mesurer en laboratoire, avec une température et une énergie de compactage données, la résistance d'une éprouvette à la déformation sous l'application graduelle d'une charge et la déformation subie par cette éprouvette au moment de sa rupture sous l'application de la charge maximale dite stabilité et fluage Marshall.

Ces derniers facteurs permettent de donner des indications sur la qualité globale de l'enrobé dont le choix et le dosage des constituants pour obtenir une meilleure composition ou une formulation à adopter pour un enrobé. (La stabilité présente un maximum pour une certaine teneur en bitume, puis elle décroît).

IV.3.1.1. Principe de l'essai :

L'essai de stabilité Marshall est un essai de compression exercée suivant la génératrice d'une éprouvette cylindrique semi-frettée (Figure (IV.11)) Cette compression est appliquée sur l'éprouvette après ½ heure d'immersion dans un bain d'eau à 60°C, et à la vitesse de 0,85 mm/s \pm 0,1mm/s.

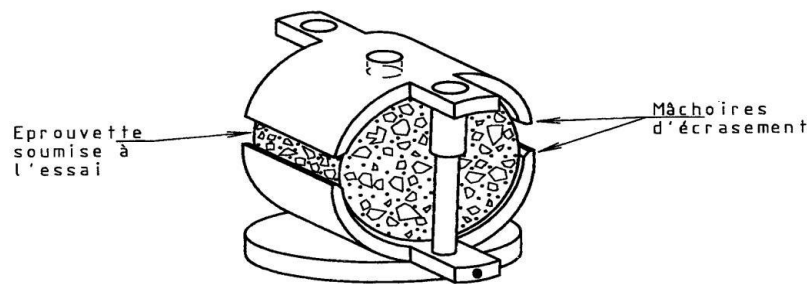


Figure (IV.11): Principe de l'essai Marshall

IV.3.1.2. Déroulement de l'essai :

Après confection les éprouvettes, une partie sera réservée pour déterminer la densité apparente et l'autre sera réservée pour déterminer la stabilité et le fluage.

On immerge les éprouvettes dans le bain thermostatique réglé à 60°C \pm 0,5 °C avec les mâchoires d'écrasement pour une durée de 30 mn (\pm 1mn).

Pendant ce temps, on installe également le dispositif contrôleur de cadence réglé pour une vitesse 0,85 mm/s \pm 0,1mm/s.

L'éprouvette est placée dans les mâchoires d'écrasement, l'ensemble est porté entre les plateaux de la presse pour être soumis à l'essai de compression. Ces opérations doivent être réalisées en moins d'une minute.

La rupture se produit au moment de l'arrêt de l'appareil puis on note les chiffres qu'indiquent l'écran de l'appareil (stabilité et fluage). Les mêmes étapes sont faites pour toutes les éprouvettes réalisées dans cette étude.



Figure (IV.12): Le bain thermostatique



Figure (IV.13): Eprouvette dans les mâchoires

IV.3.2. Essai Duriez :

L'essai Duriez ou essai de compression-immersion ayant pour but de caractériser les qualités de résistance à la compression et résistance au dés enrobage par l'eau des matériaux enrobés. Effectivement cet essai permet de déterminer à 18°C pour un compactage donné, la tenue à l'eau d'un mélange hydrocarboné à partir du rapport de résistance à la compression avant et après immersion des éprouvettes.

L'essai Duriez est réalisé sur les éprouvettes qui donnent des meilleures stabilités Marshall correspondant des teneurs en bitumes optimales.

IV.3.2.1. Principe de l'essai :

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 conditions définies : à l'air pour certaines éprouvettes, en immersion pour d'autres durant 7 jours. La tenue à l'eau est caractérisée par le rapport des résistances avant ou après immersion.

IV.3.2.2. Déroulement de l'essai :

J étant le jour de confection des éprouvettes, on commence la conservation sans immersion au jour J + 1. Les éprouvettes sont conservées à $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et dans une ambiance à $50\% \pm 10\%$ d'humidité relative pendant 7 j. Figure (IV.14)

À jour J + 8, les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression, qu'elles aient été conservées avec ou sans immersion. Pour chaque éprouvette, le délai entre la sortie du dispositif de maintien en température et le début de l'écrasement est inférieur à 2 min.

La vitesse du plateau de la presse est réglée à $1\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$. La résistance à la compression simple est déterminée à partir de la charge maximale à la rupture de l'éprouvette d'essai exprimée en Kg. en divisant sur 50, on a la résistance à la compression exprimée en Kg/cm² qu'on s'appelle stabilité Duriez.

Les mêmes étapes sont faites pour toutes les éprouvettes réalisées dans cette étude.



Figure (IV.14): Eprouvettes dans un bain normalisé de 18°C

IV .4. DETERMINATION DE LA DENSITE APPARENTE PAR PESER HYDROSTATIQUE (NFP 98-250-6)

L'éprouvette prévue pour cette mesure est pesée après sa confection et après immergée dans un bain de paraffine fondue (Figure (IV.15)). Elle est repesée à la balance hydrostatique, d'abord dans l'air puis dans l'eau, suspendue à un fil métallique. Ces différentes pesées permettent le calcul de la densité apparente. Soit **P₀** le poids de l'éprouvette avant paraffinage,

P1 le poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'air,

P2 le poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'eau.

La différence (**P1 - P2**) correspond au volume de l'éprouvette enduite.

Le volume de la paraffine se calcule, en considérant sa densité égale à 0,9, suivant la formule :

$$(P_1 - P_0) / 0,9 \dots\dots\dots(4.2)$$

Le volume de l'éprouvette nue est donné par :

$$(P_1 - P_2) - (P_1 - P_0) / 0,9 = V_0 \dots\dots\dots(4.3)$$

La densité apparente cherchée se déduit par :

$$\gamma_{app} = P_0 / V_0 \text{ (g/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots(4.4)$$



Figure (IV.15): Eprouvettes paraffinées

IV.5. DETERMINATION DE LA DENSITE THEORIQUE OU ABSOLUE

Soit:

- γ_{app} : la densité apparente de l'éprouvette;
- γ_b : la densité du bitume ;
- γ_{s1} : la densité de sable 1;
- γ_{s2}, γ_{s3} ...celles des sables 2, 3...etc.
- p_b : le pourcentage en poids du bitume;
- P_{s1}, P_{s2}, P_{s3} ...ceux des sables.

Donc la densité absolue du matériau enrobé en (**g/cm3**) :

$$\gamma_{abs} = \frac{100 + P_b}{(P_b / \gamma_b) + (P_{s1} / \gamma_{s1}) + (P_{s2} / \gamma_{s2}) + \dots} \dots\dots (4.5) \text{ (K- SAFIA [1])}$$

IV.6. DETERMINATION LE POURCENTAGE DES VIDES ET LA COMPACTITE

- Pourcentage volumétrique des vides de l'éprouvette, soit volumétrique des vides % :

$$V_v = \frac{100 (\gamma_{abs} - \gamma_{app})}{\gamma_{abs}} \dots \dots (4.6)$$

- Compacité d'une éprouvette, soit $C \%$: $C = 100 - V_v \dots \dots (4.7)$

IV.7. DETERMINATION LE POURCENTAGE D'IMBIBITION W (%)

Le pourcentage d'imbibition se calcule à partir de la formule :

$$W = \frac{100 (P_h - P_0)}{P_0} \dots \dots (4.8)$$

P_0 : étant le poids de l'éprouvette avant immersion

P_h : Le poids de l'éprouvette imbibée après 7 jours d'imbibition.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter les principales étapes expérimentales pour connaître les propriétés mécaniques de tous les mélanges proposés dans cette étude et comment déterminer les différents paramètres ou grandeurs de chaque essai soit essai Marshall ou essai de Duriez.

Les deux principaux paramètres issus de l'essai Marshall sont premièrement la stabilité qui elle est définie par la charge atteinte au moment de la rupture de l'éprouvette et deuxièmement le fluage qui est définie par la diminution du diamètre vertical atteint au moment de la rupture de l'éprouvette.

Pour l'essai Duriez, Les deux principaux paramètres déduit sont le rapport entre la résistance à la compression après immersion et la résistance à la compression avant immersion. Et le pourcentage d'imbibition.

Nous complétons ce chapitre par l'exposition et les définitions des paramètres supplémentaires issu des deux essais utilisés dans ce chapitre.

Nous allons voir dans le chapitre suivant les résultats trouvés dans chaque essai.

CHAPITRE V

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

CHAPITRE V

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V.1. INTRODUCTION

Après avoir déterminé la teneur en liant optimale, on a procédé à la confection des éprouvettes d'enrobés bitumineux modifiés à la poudrette plastique.

Le but de notre travail est d'effectuer une étude comparative entre les caractéristiques mécaniques (Marshall) des produits bitumineux obtenus à partir de deux modes de modification qui sont:

- **Mode A** : compensation du sable de dunes à la place du sable **0/3** avec des pourcentages de teneur en liant déterminés.
- **Mode B** : compensation de la poudrette plastique à la place du sable de dunes suivant des pourcentages déterminés avec la teneur en liant optimale obtenu dans le **Mode A**.

Donc la question posée est : « lequel de ces deux modes est le plus efficace de point de vue mécanique ? ».

Après sa on fait l'essai Duriez pour confirmer les résultats obtenus selon le référence du rapport r/R.

V.2. ESSAI MARSHALL

L'essai Marshall permet de déterminer pour une température et une énergie de compactage données le «**pourcentage des vides**», la «**compacité**», la «**stabilité**» et le «**fluage**» dits Marshall d'un mélange hydrocarboné à chaud.

V.2.1. Étude Expérimentale des deux Modes :

V.2.1.1. Mode A :

Comme précédemment mentionné, ce mode consiste à compenser du sable de dunes à la place du sable 0/3 avec des pourcentages de teneur en liant déterminés selon les pourcentages des agrégats et module de richesse.

On a choisi d'effectuer quatre éprouvettes pour chaque teneur qui sont toutes destinées à l'essai Marshall.

V.2.1.1.1. Densité apparente Densité absolue :

Le tableau ci-dessous présente la variation de la densité apparente et absolue en fonction des différents dosages du bitume selon chaque mélange (le détail des calculs est mentionné en annexe A) :

Tableau (V.1) : Variation de la densité apparente et absolue (BB ordinaire) (LTPS [16])

Mélange	1	2	3	4
Module de richesse (K)	3.3	3.4	3.5	3.6
Teneur en bitume (%)	5.58	5.75	5.92	6.09
Densité apparente (g/cm ³)	2.30	2.35	2.35	2.33
Densité absolue (g/cm ³)	2.45	2.44	2.44	2.44

Tableau (V.2) : Variation de la densité apparente et absolue (BB de sable de dune)

Mélange	1	2	3	4
Module de richesse (K)	3.7	3.8	3.9	4.0
Teneur en bitume (%)	5.08	5.22	5.36	6.49
Densité apparente (g/cm ³)	2.26	2.26	2.26	2.26
Densité absolue (g/cm ³)	2.78	2.78	2.78	2.79

- Nous remarquons dans ces tableaux que la densité apparente et la densité absolue dans les le béton bitumineux ordinaire ou béton bitumineux à base de sable de dune, approximativement sont constantes en fonction de la variation des teneurs en bitumes. Cela est dû à la méthode de formulation qui se base sur le module de richesse, où le dosage en bitume qui est déterminé pour un enrobé presque de manière totale ou quasi-totale des grains dans les différents mélanges.

V.2.1.1.2. Pourcentage des vides :

La détermination des différents types de pourcentages des vides en fonction des teneurs de bitumes se fait par les formules citées dans le chapitre précédent.

Les tableaux suivants présentent les différents pourcentages des vides :

- Pourcentage volumétrique des vides de l'éprouvette, soit V_v %

Tableau (V.3) : Volumes des vides (BB ordinaire) (LTPS [16])

Mélange	1	2	3	4
Bitume (%)	5.58	5.75	5.92	6.09
V_v (%)	6.12	3.68	3.68	4.50

Tableau (V.4) : Volume des vides (BB de sable de dune)

Mélange	1	2	3	4
Bitume (%)	5.08	5.22	5.36	5.49
V_v (%)	18.70	18.70	18.70	19.71

- ❖ On représente les variations des différents pourcentages des vides V_v pour les mélanges dans les figures suivantes :

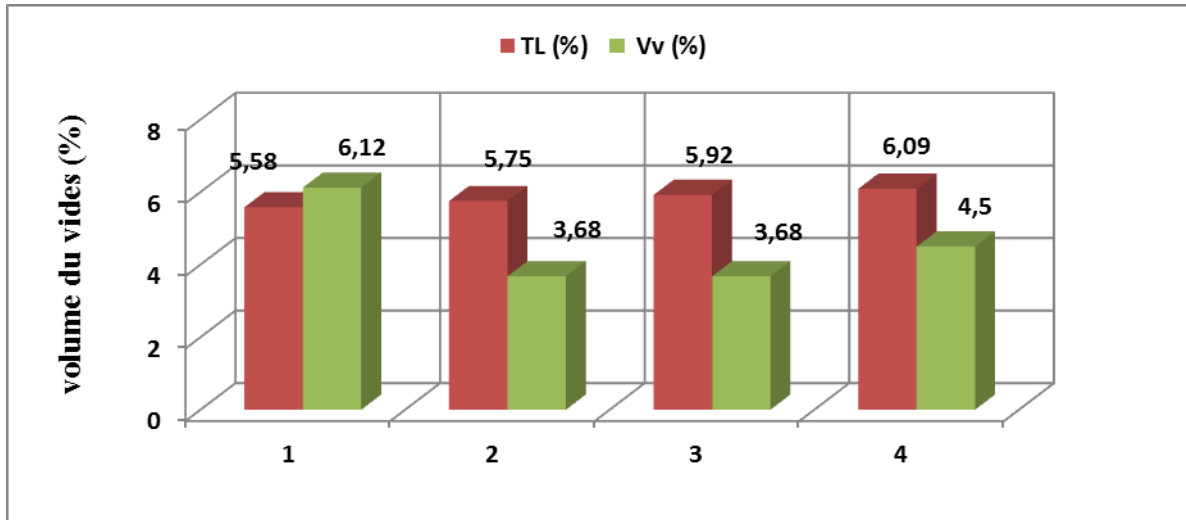


Figure (V.1): Variation des vides en fonction des teneurs en bitume selon chaque mélange (BB ordinaire) (LTBS [16])

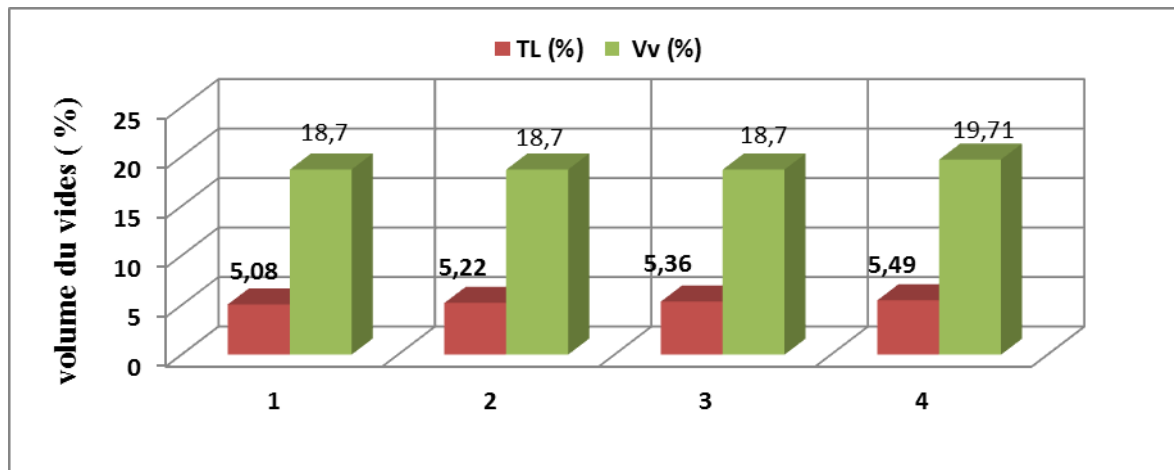


Figure (V2): Variation des vides en fonction des teneurs en bitume selon chaque mélange (BB de sable de dune)

- Les figures ci-dessous montrent les variations de pourcentage des vides entre le béton bitumineux ordinaire et le béton bitumineux à base de sable de dune. Elles sont, à peu près, constants malgré les différentes teneurs en bitume dans les deux cas. Mais les pourcentages des vides dans le BB à base de sable de dune est élevés par rapport au BB ordinaire, ces valeurs des vides éminentes sont dues à la distribution granulaire de sable de dunes qui présente une granulométrie serrée permettant de créer des espaces inter granulaires élevés qui favorisent l'absorption de bitume.

V.2.1.1.3. Evolution de la compacité :

Les tableaux suivants présentent la variation de la compacité des éprouvettes en fonction de des dosages en bitume selon chaque mélange :

Tableau (V.5) : Variation de la compacité des éprouvettes Marshall (BB ordinaire) (LTPS [16])

Mélange	1	2	3	4
Bitume (%)	5.58	5.75	5.92	6.09
Compacité (%)	96	97	97	96

Tableau (V.6) : Variation de la compacité des éprouvettes Marshall (BB de sable de dune)

Mélange	1	2	3	4
Bitume (%)	5.08	5.22	5.36	5.49
Compacité (%)	81	81	81	80

- ❖ Les figures ci-dessous présentent la variation de la compacité en fonction des dosages du bitume selon chaque mélange :

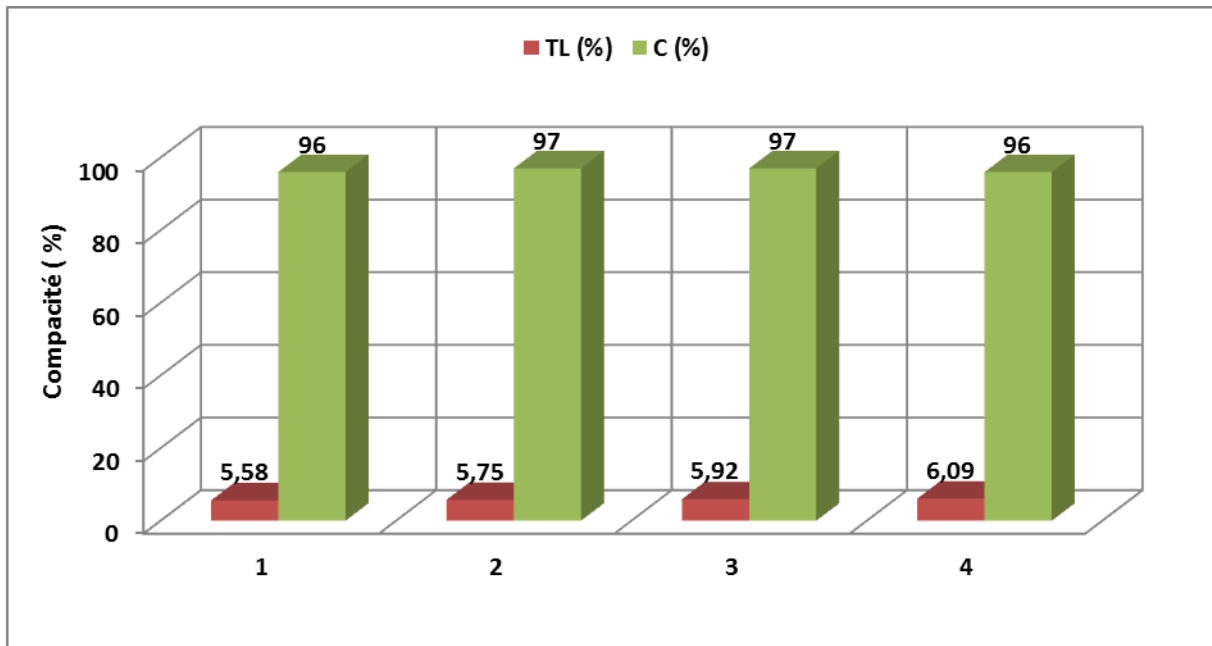


Figure (V.3): Variation de la compacité en fonction des teneurs en bitume selon chaque mélange (BB ordinaire) (LTPS [16])

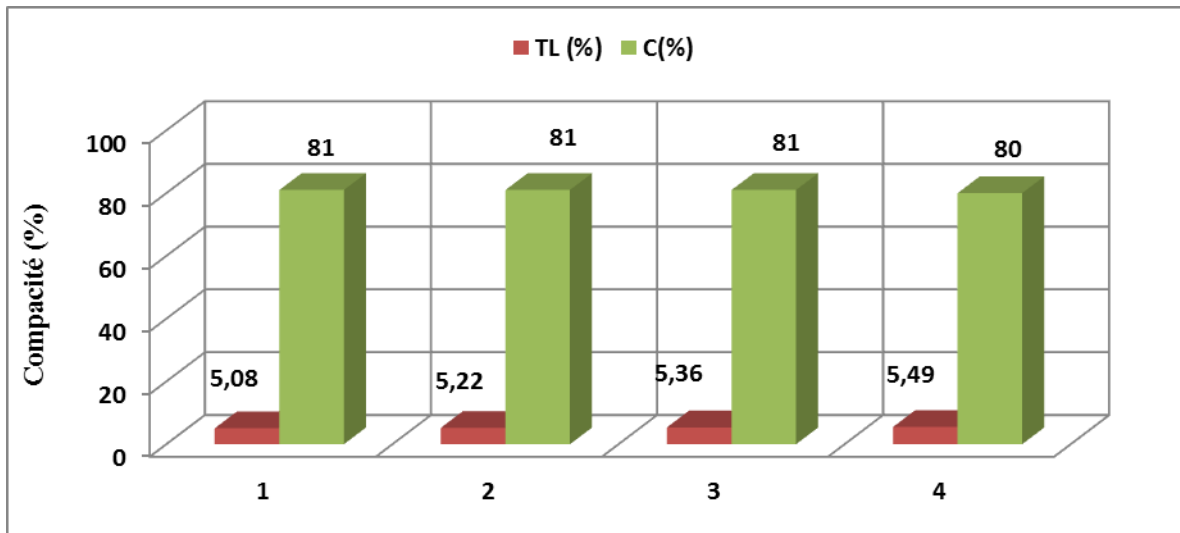


Figure (V.4): Variation de la compacité en fonction des teneur en bitume selon chaque mélange (BB de sable de dune)

- Les figures ci-dessus montrent que la compacité reste à peu près constante avec la variation de la teneur en bitume. Les valeurs obtenues pour les BB à base de sable de dune sont faibles en comparaison avec les BB ordinaires.

On peut expliquer cet insuffisance par le fait que le sable de dunes est un sable poreux, mono granulaire, manque d'angularité (les grains ronds) et pauvres en fines.

V.2.1.1.4. Evolution de la stabilité Marshall :

- ❖ Les tableaux suivants présentent la variation de la stabilité Marshall des éprouvettes en fonction des dosages du bitume selon chaque mélange :

Tableau (V.7) : Variation de la stabilité Marshall (BB ordinaire) (LTPS [16])

Mélange	1	2	3	4
Bitume (%)	5.58	5.75	5.92	6.09
Stabilité (Kg)	1216	1293	1326	1259

Tableau (V.8) : Variation de la stabilité Marshall (BB de sable de dune)

Mélange	1	2	3	4
Bitume (%)	5.08	5.22	5.36	5.49
Stabilité (Kg)	849.96	841	933.5	745.23

- ❖ Les figures ci-dessous présentent la variation de la stabilité de Marshall en fonction du dosage en bitume pour chaque mélange :

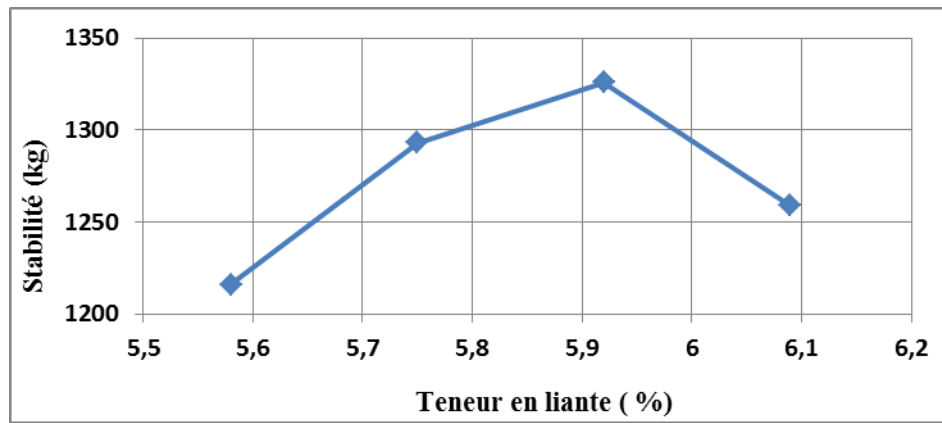


Figure (V.5): Variation de stabilité Marshall en fonction des teneurs en bitume de (BB ordinaire) (LTPS [16])

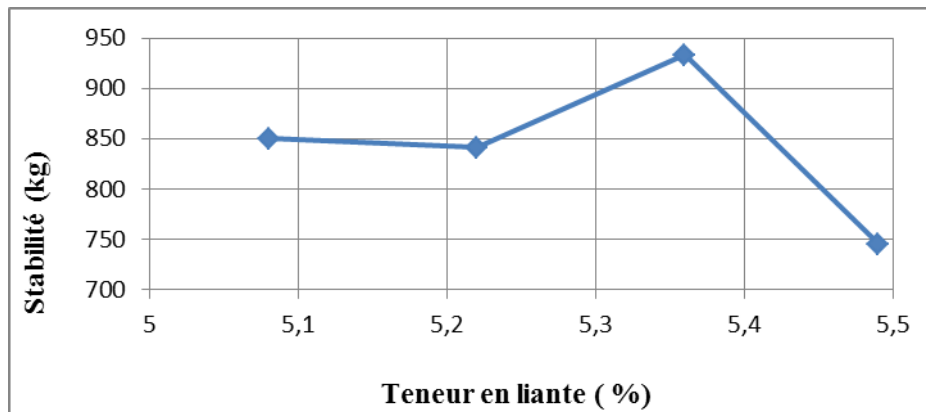


Figure (V.6): Variation de la stabilité Marshall selon la teneur en bitume (BB de sable de dune)

- On observe sur les figures ci-dessus, que les stabilités Marshall trouvées pour les BB de sable de dune sont faibles mais restent acceptables en comparaison avec les stabilités des BB ordinaires selon les normes françaises ; qui recommandent des valeurs de stabilité supérieures à 1050 Kg pour un enrobé semi grenue 0/14.

V.2.1.1.5. Evolution du fluage Marshall :

❖ Les tableaux suivants présentent la variation du fluage Marshall des éprouvettes en fonction de la variation des dosages en bitume selon chaque mélange.

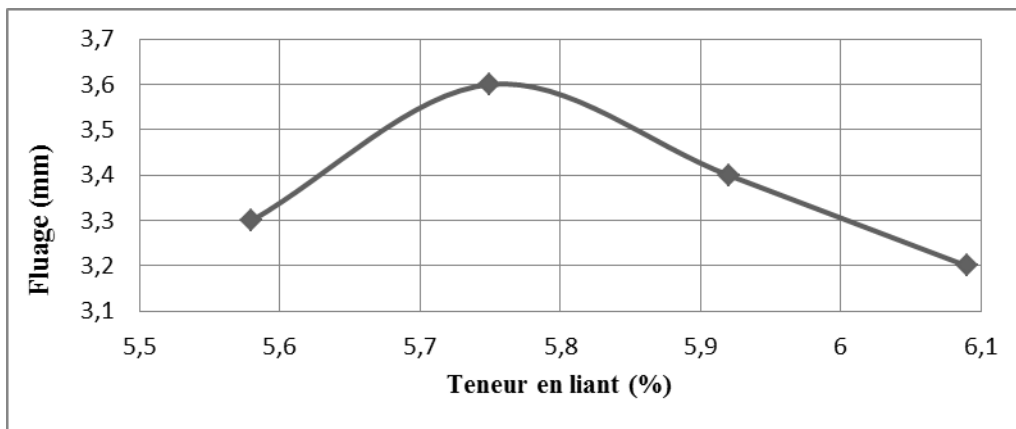
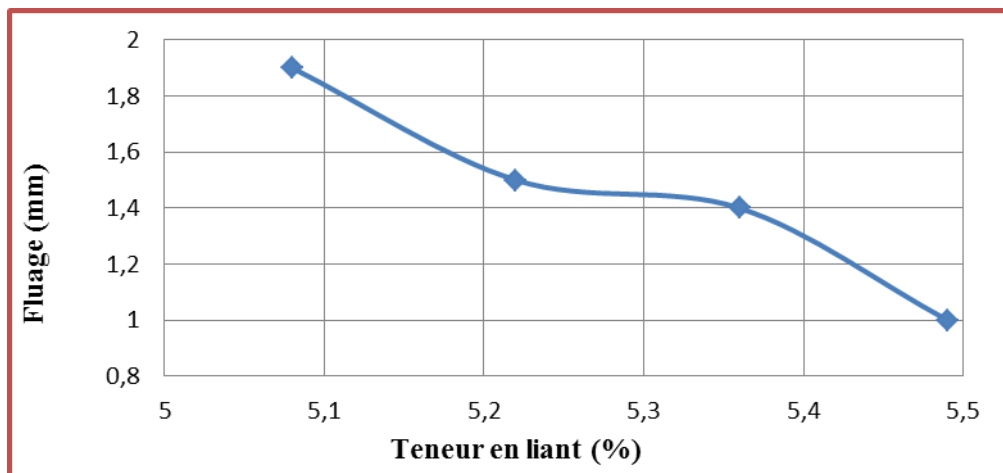
Tableau (V.9) : Variation du fluage Marshall (BB ordinaire) (LTPS [16])

Mélange	1	2	3	4
Bitume (%)	5.58	5.75	5.92	6.09
Fluage (mm)	3.3	3.6	3.4	3.2

Tableau (V.10) : Variation du fluage Marshall (BB de sable de dune)

Mélange	1	2	3	4
Bitume (%)	5.08	5.22	5.36	5.49
Fluage (mm)	3.3	3.6	3.4	3.2

- ❖ Les figures ci-dessous présentent la variation du fluage Marshall en fonction du dosage du bitume pour chaque mélange :

**Figure (V.7):** Variation du fluage selon la teneur en bitume (BB ordinaire) (LTPS [16])**Figure (V.8):** Variation du fluage en fonction des teneurs en bitume (BB de sable de dune)

- On remarque sur les figures ci-dessus, que les résultats de fluage du BB à base de sable de dune diminuent en comparaison avec les BB ordinaires. On peut expliquer cette diminution, à notre avis, que le bitume joue un rôle important dans la rigidifiassions du squelette granulaire du sable de dunes. Comme nous savons, généralement, que le sable naturel contient des vides importants donc le bitume va remplir ces vides

V .2.1.2. Synthèse générale (Mode A) :

L'étude de formulation de béton bitumineux ordinaire à la méthode Marshall nous a dévoilé que le pourcentage optimal du bitume est de 5,92% , elle donne une stabilité maximale de 1326 kg et un fluage minimal de 34 mm et une compacité acceptable de 97%.

La deuxième étude de formulation de béton bitumineux à base de sable de dune par la méthode Marshall nous a dévoilé que le pourcentage optimal du bitume est de 5,36% elle donne une stabilité maximale de 933.5 kg et un fluage minimal de 14 mm et une compacité relativement faible de 81%.

Le présent résultat de modification nous montre qu'une substitution de sable concassé par du sable de dune fait diminuer la stabilité du mélange de 29.6% et la capacité de 15.63% mais par contre augmente la résistance au fluage de 56.25% (le fluage est diminué en valeur).

Les pourcentages des vides pour le BB à base de sable de dune sont élevés en comparaison avec le BB ordinaire à cause des propriétés physiques de sable comme nous savons que les sable naturel sont poreux donc ces sables absorbent beaucoup de bitume.

Tableau (V.11) : Synthèse des résultats « Mode A »

BB	Bitume (%)	Vv (%)	Compacité (%)	Stabilité (KN)	Fluage (mm)
BB ordinaire	5.92	3.68	97	13.26	3.4
BB de SD	5.36	18.70	81	9.335	1.4

V.2.1.2. Mode B :

Ce mode consiste à compenser des pourcentages de sable de dune par d'autres de la poudrette plastique. Cette compensation s'effectue avant le malaxage des agrégats.

On a évité la compensation aléatoire «une quantité de sable de dune et la remplacer directement par la poudrette plastique» pour éviter la modification de la courbe granulométrie du mélange.

Dans ce qui vient, on va exposer les diagrammes, qui présentent la variation des caractéristiques mécaniques obtenues par les bétons bitumineux modifiés selon le **Mode B** à différentes teneurs en déchets plastiques : «5 - 7.5 et 10%» (Voir Annexe).

V.2.1.2.1. La densité apparente et la densité absolue :

Tableau (V.12) : Variation de la densité apparente et absolue (BB avec déchets plastiques)

Mélange	1	2	3
Module de richesse (K)	3.7	3.8	3.9
DPL(%)	5	7.5	10
Teneur en bitume (%)	5.36	5.36	5.36
Densité apparente (g/cm ³)	2.081	2.025	1.955
Densité absolue (g/cm ³)	2.260	2.135	2.024

V.2.1.2.2. Pourcentage des vides :

Tableau (V.13) : Valeurs de volume du vides de (BB avec déchets plastiques).

Mélange	1	2	3
Teneur en bitume (%)	5.36	5.36	5.36
DPL (%)	5.0	7.5	10.0
Volume du vide Vv (%)	7.920	5.152	3.409

❖ On représente les variations des différents pourcentages des vides V_v pour les mélanges par les figures suivantes :

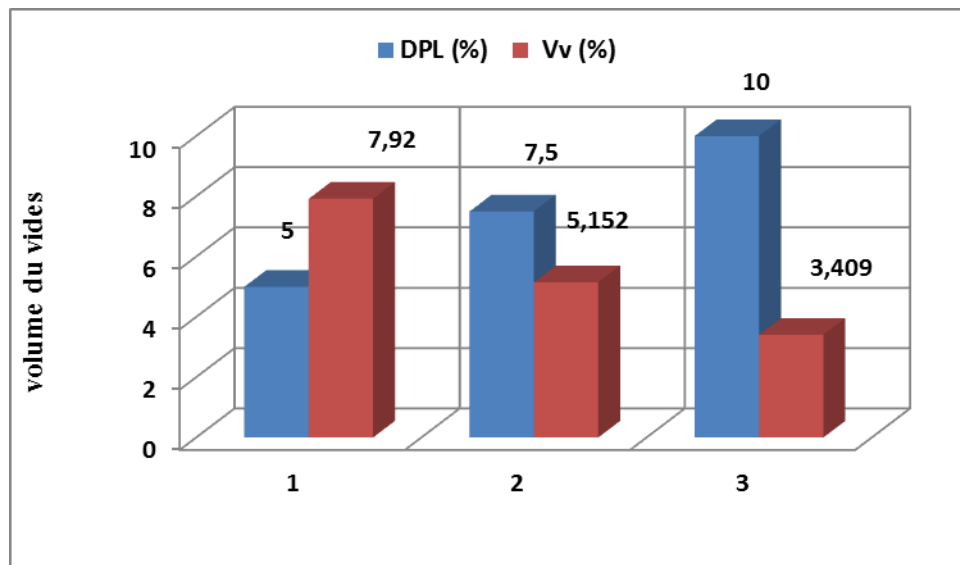


Figure (V.9): Variation du volume des vides (V_v) en fonction de déchets plastiques selon chaque mélange

• Sur la (figure (V.9) de plus en plus la teneur en déchets augmente, le pourcentage des vides diminue. On peut expliquer que le bitume remplit les vides de ce mélange.

On peut aussi remarquer que l'allure de diminution n'est pas bien visible entre les trois mélanges, c'est-à-dire que la variation de pourcentages des vides n'est pas sensible pour les différents teneurs en déchets utilisés. Le résultat trouvé est, à peu près, satisfaisant par rapport au mélange précédent de BB à base de SD.

La meilleure valeur enregistrée est 3.409% pour une teneur en déchet de 10%.

V.2.1.2.3. Evolution de la compacité :

Tableau (V.14) : Variation de la compacité Marshall

Mélange	1	2	3
teneur en bitume (%)	5.36	5.36	5.36
teneur en DP (%)	5.0	7.5	10.0
Compacité (%)	92.08	94.848	96.591

- ❖ La figure ci-dessous présente la variation de la compacité en fonction de la variation de dosage des déchets plastiques selon chaque mélange :

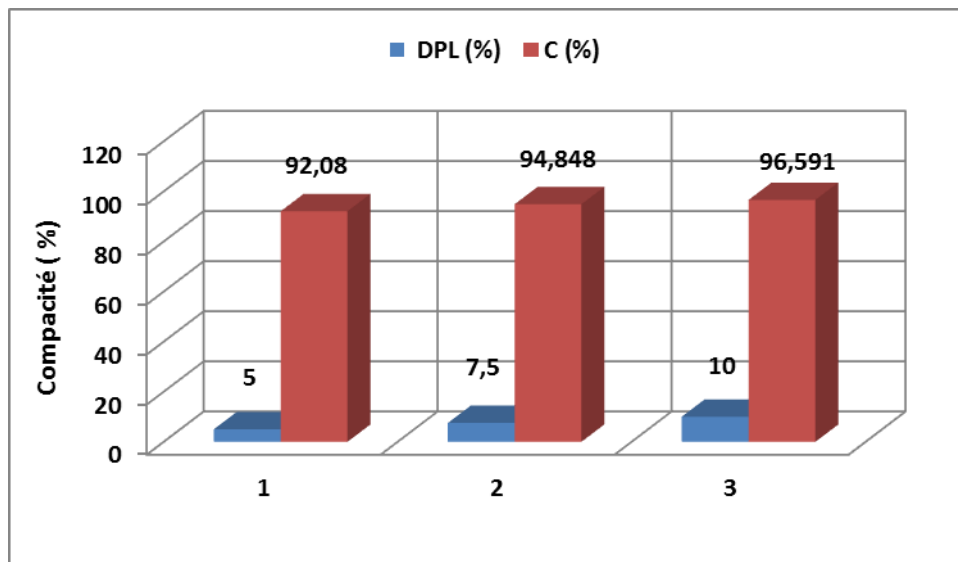


Figure (V.10) : Variation de la compacité en fonction de déchets plastiques selon chaque mélange

- ❖ Le diagramme ci-dessus montre que la compacité croît avec la teneur en déchets jusqu'à 10% ou elle atteint la valeur 96,591% et diminue pour des teneurs supérieures à 10% tout en restant supérieure à la compacité de référence.

V.2.1.2.4. Evolution de la stabilité Marshall :

Tableau (V.15) : Variation de la stabilité Marshall (BB de SD avec déchets plastiques)

Mélange	1		2		3	
Teneur en bitume (%)	5.36		5.36		5.36	
Teneur en DP (%)	5.0		7.5		10.0	
Stabilité Marshall (Kg)	P1	1688.7	P1	1880.6	P2	1591
	P2	1417.9	P2	2644.9	P3	1843
	P3	2096.4	P4	2207	P4	2653
Stabilité moyenne	1734.33		2243.9		2029	

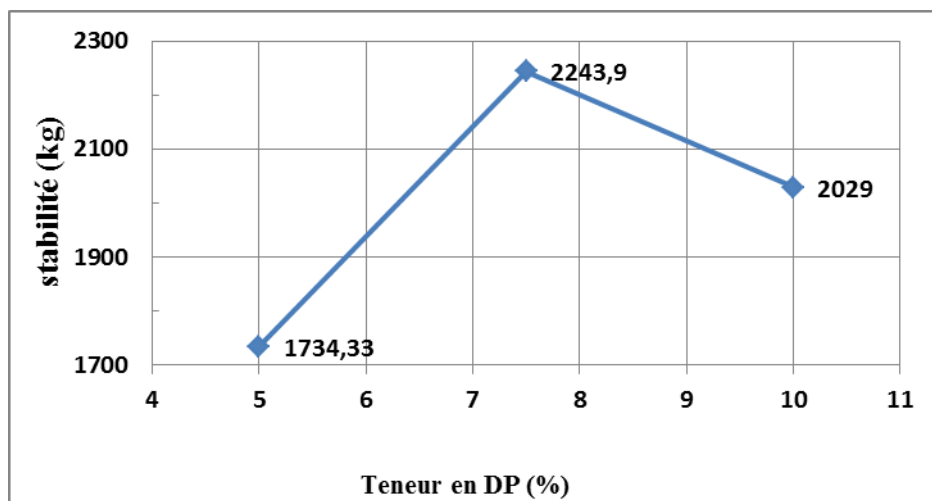


Figure (V.11): Variation de stabilité moyenne en fonction des déchets plastique (BB de SD avec DPL)

- Les bétons bitumineux modifiés présentent une meilleure stabilité comparativement à l'enrobé de référence.

La stabilité croît jusqu'à une teneur en poudrette de 7.5% ensuite diminue, tout en restant supérieure à celle de l'enrobé de référence.

V.2.1.2.5. Evolution du fluage Marshall :

Tableau (V.16) : Variation du fluage Marshall de (BB à base de sable de dune modifi2 en DPL)

Mélange	1		2		3	
Teneur en bitume (%)	5.36		5.36		5.36	
Teneur en DP (%)	5		7.5		10	
Fluage Marshall (mm)	P1	32.13	P1	35	P2	53.48
	P2	39.51	P2	38.59	P3	41.01
	P3	38.18	P4	49.24	P4	42.04
Fluage moyen (mm)	36.61		40.9		45.51	

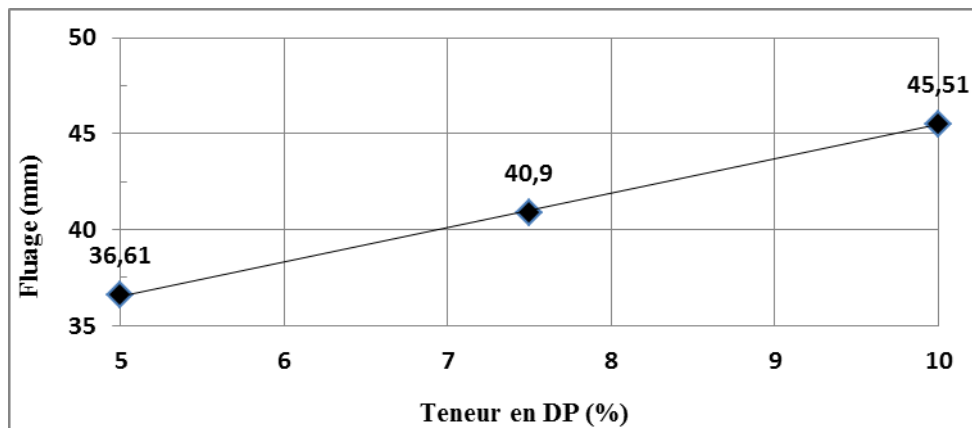


Figure (V.12): Variation du fluage moyen en fonction des déchets plastiques (BB de sable de dune)

- ❖ On remarque que le fluage minimal est celui du mélange de 5%.
- ❖ le fluage témoin est meilleur que le fluage relatif aux différents teneurs en poudrettes sauf la teneur 5% qui donne un fluage inférieur à celui du fluage de référence.

V .2.2.2. Synthèse générale (Mode B) :

L'étude de formulation de béton bitumineux à base de sable de dune par la méthode Marshall nous a dévoilé que le pourcentage optimal du bitume est de 5,36% elle donne une stabilité maximale de 933.5 kg et un fluage minimal de 14 mm et une compacité acceptable de 81%.

La deuxième étude de formulation de béton bitumineux modifié par les déchets plastiques a base de sable de dune par la méthode Marshall a donné une stabilité maximale de 1734 kg et un fluage minimal de 36.61 mm et une compacité acceptable de 92.08%.

Le présent résultat de modification nous montre qu'une substitution d'un pourcentage de sable de dune par les déchets plastiques a fait augmenter la stabilité de mélange de 46.17% et la compacité de 12.03% mais par contre augmente la résistance au fluage de 61.76%.

Tableau (V.17) : Synthèse des résultats « Mode B »

BB	DPL (%)	Bitume (%)	Vv (%)	Compacité (%)	Stabilité (KN)	Fluage (mm)
BB de SD	0	5.36	18.70	81	9.335	1.4
BB modifié	5	5.36	7.92	92.08	17.34	3.661

V .2.2. Synthèse Globale et Comparaison :

- D'après les résultats obtenus on voit clairement que Le BB modifié par le mode B de modification est plus performant que le BB à base de SD et le BB ordinaire.
- L'apport de déchets plastiques dans l'enrobé bitumineux selon le mode B a une grande influence sur ses caractéristiques mécaniques.

La teneur en déchets plastiques 5% pour la confection de l'enrobé modifié par le mode B présente de meilleurs résultats par rapport au mélange témoin avec:

- ❖ Une augmentation de la stabilité de près de 46.165 %
- ❖ Une augmentation de la compacité de l'ordre de 12.03%
- ❖ Une augmentation du fluage de près de 61.76% (mais comme une valeur il est agréable c'est-à-dire il ne dépasse pas le fluage max)
- Les pourcentages des vides pour le BB à base de sable de dune sont élevés en comparaison avec le BB ordinaire à cause des propriétés physiques de sable comme nous savons que les sable naturel sont poreux donc absorbent beaucoup du bitume.
- L'obtention de bonnes performances mécaniques par rapport au BB à base de SD et BB a base de SD avec modification passe par l'optimisation de la compacité des enrobés bitumineux. Ces résultats montrent que l'ajout de déchets donne des meilleures compacités. Ceci trouve son explication dans le fait que le déchet additif joue le rôle de réducteur des vides.

V.3. ESSAI DURIEZ

V.3.1. Etude expérimentale des deux modes :

V.3.1.1. Mode A : L'essai Duriez est réalisé sur les éprouvettes qui contiennent un dosage de bitume optimum correspondant à la meilleure stabilité Marshall.

V.3. 1.1.1. Stabilité Duriez :

Les tableaux suivants présentent les résultats obtenus de l'essai Duriez tel que la résistance à la compression avant et après immersion et le rapport entre eux :

Tableau (V.18) : Stabilité Duriez

Type de BB	BB ordinaire	BB de sable de dune
Bitume (%)	5.92	5.36
R (Kg/cm ²)	134.64	64.33
r (Kg/cm ²)	118.32	63.35
rapport r/R	0.878	0.98

R : Résistance à la compression avant immersion

r : Résistance à la compression après immersion

- D'après le tableau ci-dessus, on remarque que la résistance à la compression avant immersion enregistrée pour le BB ordinaire est faible par rapport au BB à base de SD. Mais acceptable et suffisante pour les deux BB. Selon les normes françaises, (valeur recommandée $r/R > 70 \text{ Kg/cm}^2$)
- mais suffisantes pour une valeur recommandée est $r > 56 \text{ Kg/cm}^2$). Enfin on remarque que le résultat du rapport r/R et dans les deux cas est acceptable par rapport à la valeur recommandée $r/R > 0,75$).

V.3.1.1.2. Pourcentage d'imbibition "W" :

Les tableaux présentent la variation du pourcentage d'imbibition des éprouvettes Duriez immergées dans un bain thermostatique durant 7 jours

Tableau (V.19) : Variation du pourcentage d'imbibition d'éprouvettes Duriez (BB ordinaire) (LTPS [16])

Eprouvette	1	2	3	4
Bitume (%)	5.92	5.92	5.92	5.92
W (%)	1.01	1.02	1.33	1.66

Tableau (V.20) : Variation du pourcentage d'imbibition Duriez (BB de sable de dune)

Eprouvette	1	2	3	4
Bitume (%)	5.36	5.36	5.36	5.36
W (%)	1	1	2.37	2.65

❖ Les résultats sur le tableau ci-dessus représentent les variations de pourcentage d'imbibition. En remarque que le pourcentage d'imbibition dans le BB à base de sable de dune est supérieur en comparaison avec le BB ordinaire D'après les valeurs trouvées, on peut expliquer ces résultats, à notre avis, par les pourcentages des vides existants dans les mélanges de BB à base de sable de dune.

Tableau (V.21) : Synthèse des résultats « Mode A »

Type de BB	Bitume (%)	W (%)				r (Kg/cm ²)	R (Kg/cm ²)	r/R
BB ordinaire	5.92	P:1	P:2	P:4	P:5	118.32	134.64	0.878
		1.01	1.02	1.33	1.66			
BB de sable de dune	5.36	P : 1	P : 2	P : 4	P : 5	63.35	64.33	0.98
		1.01	1.02	2.37	2.65			

V.3. 1.2. Mode B :

L'essai Duriez est réalisé sur les éprouvettes qui contiennent un dosage en bitume et pourcentage des déchets optimum correspondant à la meilleure stabilité Marshall.

V.3. 1.2.1. Stabilité Duriez :**Tableau (V.22) : Stabilité de Duriez de BB modifié**

Caractéristique	BB modifié
Bitume (%)	5.36
DPL (%)	5.0
R (Kg/cm ²)	85.467
r (Kg/cm ²)	68.780
rapport r/R	0.80

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que la résistance à la compression avant immersion enregistrée pour le BB modifié est faible par rapport au BB à base de SD. Mais acceptable et suffisant pour les deux BB. Selon les normes françaises, (valeur recommandée $r/R > 70 \text{ Kg/cm}^2$)

❖ mais suffisantes pour une valeur recommandée est $r > 56 \text{ Kg/cm}^2$). Enfin on remarque que le résultat de rapport r/R et dans les deux cas et suffisantes et acceptable par rapport à la valeur recommandée $r/R > 0,75$).

V.3.1.2.2. Pourcentage d'imbibition (W) :**Tableau (V.23) : Variation du pourcentage d'imbibition Duriez (BB modifié)**

Eprouvette	1	2	3	4
Bitume (%)	5.36	5.36	5.36	5.36
DPL (%)	5.0			
W (%)	1.01	1.02	2.076	1.43

❖ Les résultats du tableau ci-dessus présentent des variations de pourcentage d'imbibition remarquables. En remarque que le pourcentage d'imbibition dans le BB de sable de dune modifié avec haute valeur en comparaison entre le BB de SD. D'après les valeurs trouvées, on peut expliquer ces résultats, à notre avis, par les pourcentages des vides existant dans les mélanges de BB à base de sable de dune.

Tableau (V.24) : Synthèse des résultats « Mode B »

BB	Bitume (%)	W(%)				r (Kg/cm ²)	R (Kg/cm ²)	r/R
		P : 1	P : 2	P : 4	P : 5			
BB modifié	5.36	P : 1	P : 2	P : 4	P : 5	68.780	85.467	0.80
		1.01	1.02	2.076	1.43			
BB de sable de dune	5.36	P : 1	P : 2	P : 3	P : 4	63.35	64.33	0.98
		1.01	1.02	2.37	2.65			

V.4. CONCLUSION :

D'après la fin de la partie expérimental on résumé tous les Performances mécaniques et leurs spécifications des mélanges dans le tableau suivant :

Tableau (V.25) : Performances mécaniques des mélanges

Caractéristique		Résultat				Spécification
Module de richesse K (%)	BB ordinaire	3.3	3.4	3.5	3.6	
	BB de SD	3.7	3.8	3.9	4.0	
	BB avec 5% DPL	3.7	3.8	3.9	4.0	
Teneur en liant (%)	BB ordinaire	5.58	5.75	5.92	6.09	-
	BB de SD	5.08	5.22	5.36	6.49	
	BB avec 5% DPL	5.36	5.36	5.36	5.36	
Densité apparent (g/cm ³)	BB ordinaire	2.30	2.35	2.35	2.33	-
	BB de SD	2.26	2.26	2.26	2.26	
	BB avec 5% DPL	2.081				
Densité absolue (g/cm ³)	BB ordinaire	2.45	2.44	2.44	2.44	-
	BB de SD	2.78	2.78	2.78	2.79	
	BB avec 5% DPL	2.260				
MARSHALL						
Volume des vides (%)	BB ordinaire	6.12	3.68	3.68	4.50	< 8
	BB de SD	18.70	18.70	18.70	19.71	
	BB avec 5% DPL	7.920				
compacité (%)	BB ordinaire	96	97	97	96	> 92
	BB à base de SD	81	81	81	80	
	BB Modifié avec	92.08				
Stabilité Marshall(kg)	BB ordinaire	1216	1293	1326	1259	> 10,50
	BB à base de SD	849.96	841	933.5	745.23	
	BB avec 5% DPL	1734.33				
fluage Marshall(mm)	BB ordinaire	33	36	34	32	< 4
	BB de SD	33	36	34	32	
	BB avec 5% DPL	36.61				
DURIEZ						
Pourcentage d'imbibition "W"	BB ordinaire	1.33		1.66		-
	BB de SD	2.37		2.65		
	BB avec 5% DPL	2.076		1.43		
Rapport immersion Compression r/R	BB ordinaire	0.878				> 0,75
	BB de SD	0.98				
	BB avec 5% DPL	0.80				

- ❖ D'après tous les résultats dans ce chapitre à la fin en peut recapture les paramètres de chaque type de BB dans le tableau suivant :

Tableau (V.26) : Évaluation générale entre les trois types de BB

Caractéristique	Enrobé ordinaire	Enrobé Mode A	Enrobé Mode B
Stabilité	↑	×	↑
Fluage	✓	↑	✓
Compacité	↑	↑	↑
Avantage économique	×	✓	↑
Avantage environnemental	×	✓	↑
× : mauvais ✓ : bon ↑ : très bon			

Conclusion général et recommandations

Dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et le recyclage des déchets, ce travail vient de contribuer à l'étude des caractéristiques mécaniques d'un mélange constitué de béton bitumineux à base de sable de dunes sèche et puis traiter aux déchets plastique recyclé dans l'objectif d'utiliser en couche de roulement.

L'étude de formulation à la méthode de Marshall nous a dévoilés que le pourcentage optimal du bitume est de 5,36% pour les deux modes de modification.

À la lumière des résultats obtenus sur la caractérisation rhéologique et physiques des enrobés bitumineux son et avec la modification à la poudrette de plastiques issues des déchets plastiques en fin de cycle, il est possible de tirer les conclusions suivantes :

- le béton bitumineux ordinaires, présentent des caractéristiques mécaniques meilleur par rapport à le béton bitumineux à base de sable de dune ce qui incite à élever leurs performances surtout de résistance pour leur éventuel utilisation dans les sections sollicitées.
- les enrobés bitumineux modifiés par adjonction de poudrette présentent des performances mécaniques supérieures quelque soit le mode de modification adopté.

• Résultats du Mode A

Les performances mécaniques du sable bitume à base de sable de dunes uniquement s'avèrent très faibles en égard aux spécifications pour Sand asphalta, ceci est montré par l'essai de stabilité Marshall ainsi que l'essai de compression Duriez

La faiblesse enregistrée au niveau des performances est due, en premier lieu, à la granulométrie serrée des grains et leur forme arrondie ce qui ne mobilise pas de frottement suffisant pour résister aux efforts. La composition essentiellement siliceuse du sable de dunes possède une incidence négative vue que le bitume adhère mieux avec les agrégats calcaires.

• Résultats du Mode B

A l'issue de la présente étude, menée dans le but d'étudier l'influence des poudrettes de déchets plastiques sur les enrobés bitumineux à base de sable de dune. et voir les principaux titre de la méthode de modification des liants hydrocarbonés, plusieurs points sont à souligner à partir du travail expérimental et les résultats obtenus et présentés les conclusions dont on a aboutit sont les suivant :

- Le bitume modifié par les polymères de 5 % et 29 % de SD présente des caractéristiques plus élevées que le bitume à base SD non modifié c'est-à-dire de 34 % SD sèche, cette amélioration s'exprime par la stabilité de Marshall.
- L'enrobé bitumineux à base de bitume modifié présente des performances mécaniques et rhéologiques bien meilleurs que l'enrobés à base de SD sèche.
- La stabilité du bitume modifié c'est un point assez important pour éviter la séparation du polymère qui peut influencer par une façon grave sur l'enrobé.

À la lumière des avantages précédents, on peut avancer que les polymères testés présentent une influence positive importante sur les performances physico-mécaniques des bétons bitumineux et ce malgré que ces polymères ne sont que des matières plastiques recyclés.

Recommandations :

Beaucoup de travail a été fait sur l'utilisation d'additifs dans les mélanges bitumineux et ainsi que sur la modification du bitume. Les recherches ont montré que l'ajout de polymères au liant contribue à augmenter la cohésion de la liaison inter faciale entre l'agrégat et le liant qui peut améliorer de nombreuses propriétés des revêtements en béton bitumineux.

L'utilisation de plastique ce augmente de façon exponentielle en raison de la croissance considérable de la population, l'urbanisation et le style de vie changée conduit à l'abandon des déchets de plastique sur le paysage.

Chaque année l'Algérie produise des milliers de tonne de déchet de plastique l'élimination des déchets plastiques Est un problème grave en raison de leur non-biodégradabilité cela pose un problème majeur à la société à l'égard de la gestion des déchets solides L'emploi des déchets des plastiques récupérer comme un polymère pour améliorer les performances de la chaussée dans les mélanges bitumineux à chaud, est une approche pour protéger l'environnement et fournir des routes à faible coût.

D'après cette étude expérimentale élémentaire et préliminaire on peut recommander :

D'étudier de façon suffisante plusieurs types de polymères de la nature plastiques,

- D'exploités le volume immense des déchets plastiques pour améliorer les performances de notre réseau routier en Algérie,

• Faire des études profonds sur les enrobés bitumineux par plus des essais, plus des informations pour bien comprendre l'influence de ces plastiques broyés sur ce dernier.

- Le polymère est un domaine vraiment très vaste ; A travers ce travail, il faut essayer de cerner les grands ensembles traitant les polymères tels que leur types et composition chimique.
- Les polymères sont des ajouts largement utilisés dans le domaine routier grâce à leur efficacité et leur avantage qu'ils fournissent aux enrobés bitumineux.

•

D'après tout ça on peut maintenant répondre à la question préalablement posée « **lequel des deux modes de modification A ou B est le plus efficace ?** ». La réponse sera : « les enrobés modifiés selon les deux modes ont des bonnes, fluage mais le mode B qui donne des meilleur résultats pour la stabilité Marshall, et le pourcentage de vide aussi que la compacité. Donc pour teneur compte par rapport des meilleurs caractéristique mécaniques et aussi l'aspect économique, environnementale et la mise en œuvre, on trouve que le mode B est le plus efficace ».

Bibliographie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **K- SAFIA, 2013** : « En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Génie Civil » (valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable – bitume)
- [2] **AZZI YOUNES-MOULAY MED YACINE, 2013** : « master académique génie civil » (poudrette plastique dans enrobés bitumineux).
- [3] **DE DEVELOPPEMENT DU RECYCLAGE DES EMBALLAGES MENAGERS EN PLASTIQUE ((juillet 2012))**
- [4] **A. JUNOD, A.-G. DUMONT** : « Formulation et optimisation des formules d'enrobés », Rapport l'Office fédéral des routes N° UNTERHALT 2000.Décembre 2004.
- [5] 1er trimestre 2001 **Dossier sur l'environnement 'mens sana in terra sana' ((Le recyclage des plastiques))**
- [6] **B.J.CARLOZZO**: « **Bituminous Coatings** », MNL17-EB/Jun. 1995, Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Dec 29 05:20:15 EST 2011, www.astm.org
- [7] **EUROVIA, SOCIETE VINCI**: « Histoire de bitume » modifier le 24/04/2011 www.rechercher.me/fichiers/bitume_pdf_68178.html
- [8] **USIRF: Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française**: «Le bitume, histoire d'un matériau routier », édition spéciale: manifestation prévention/sécurité USIRF du 2 décembre 2010, Internet : www.usirf.com
- [9] **G.JEUFFROY, R.SAUTEREY** :« Couches de roulement », Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 1985.
- [10] [www.google.com/enrobés bitumineux/PDF](http://www.google.com/enrobés_bitumineux/PDF); « les enrobés bitumineux », les éditions le griffon d'argile, mise à jour 2002.PP117
- [11] **J.ARRAMBIDE, M.DURIEZ** : « Liants routiers et enrobés, matériaux de protection; plâtre - agglomérés - bois », les manuels de l'ingénieur et de technicien de bâtiment et de travaux publics, édition du moniteur des travaux publics, Paris 1959.
- [12] **M.MERBOUH, (2010)**:«Contribution a la modélisation du comportement rhéologique des enrobés bitumineux, Influence des conditions extrêmes de température et de trafic en fatigue», Thèse Doct. Université BORDEAU 1, sciences technologies.
- [13] **M.H.BEN DHIA**, «Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien », Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées - 213 - janvier-février 1998 - réf. 4159 - pp33-42.
- [14] **R.NEDJARI, (Ing au C.T.T.P)**:«Résultats de planches expérimentales en sable enrobé et recommandations relatives à son utilisation», 3ème congrès algérien de la route, Alger 2003.

[15] B.LOMBARDI (Ingénieur ENSCL, Directeur général du GPB, Président de la Commission de normalisation des liants hydrocarbonés du BNPE) : « Liants hydrocarbonés »
Techniques de l'Ingénieur, C 904 – 14 - Editions T.I, 11 – 2007, www. Techniques de l'Ingénieur.com

[16] LTPS. LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD (Lieu de travail a SALLE DE ROUTE)

[17] SCHROLL le recyclage et la gestion durable de vos déchets www.schroll.fr

Annexes

ANNEXE A

CARACTERISATION DES MATERIAUX

UTILISES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: UNITE DE OUARGLA

N° Dossier interne: 015/2017

Classe granulaire: 8/15

Prise d'essai: 4000g

Équipements utilisés : BALANCE

Lieu de travail: SALLE DE ROUTE

Date: 10/02/2017

Opérateur: koudri djamila/tlili mbarka

N°D'inventaire : L 21_23_15

Tableau(A.1): ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS 8/15

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20	0.00	0.00	0.00	100	100%
16	21.2	21.2	0.53	99.47	99%
12.5	1475.4	1496.6	37.42	62.59	63%
10	1378.1	2874.7	71.86	28.13	28%
8	925.4	3800.1	95.00	4.99	5%
6.3	170.8	3970.9	99.27	0.73	1%
5	12.1	3983	99.58	0.43	0%
4	0.5	3983.5	99.59	0.41	0%
3.15					
2.5					
2					
1.60					
1.25					
0.63					
0.315					
0.160					
0.080					

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: UNITE DE OUARGLA

N° Dossier interne: 015/2017

Classe granulaire: 3/8

Prise d'essai: 2000g

Équipements utilisés : BALANCE

Lieu de travail: SALLE DE ROUTE

Date: 10/02/2017

Opérateur: koudri djamila/tlili mbarka

N°D'inventaire : L 21_23_15

Tableau(A.2): ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS 3/8

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10	0.00	0.00	0.00	100	100%
8	21.7	21.7	1.09	98.92	99%
6.3	356.4	378.1	18.91	81.10	81%
5	633.4	1011.5	50.58	49.43	49%
4	639.9	1551.4	77.57	22.43	22%
3.15	366.7	1812.1	90.61	9.40	9%
2.5	131.2	1943.3	97.17	2.84	3%
2	43.7	1987	99.35	0.65	1%
1.60	3.3	1990.3	99.52	0.49	0%
1.25					
0.63					
0.315					
0.160					
0.080					

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE CHIMIQUE SOMMAIRE

Structure : UNITE DE OUARGLA

N°Dossier interne : 02/2017

Équipements utilisés :Four a Moufle/ plaque Chauffante Agitateur/Balance Electrique 202 G

Lieu de travail :Département Laboratoire

Date : 08/02/2017

Échantillon :.....

Opérateur: KOUIDRI/ TLILI

N° D'inventaire : L 53-01-04/L03-02-04/L21-11-86

Tableau(
A.4):
ANALYS
E
CHIMIQ
UE
L

Opé
rateu
r
Visa
du
resp
onsa
ble

A

-4

ÉCHANTILLON																						
INSOLUBLES NFP 15-461	Creuset+précipité	35.2310																				
	Creuset vide	34.2755																				
	Poids du résidu	0.9555																				
	% Insolubles	96.55																				
SULFATES BS 1377	Creuset+précipité	30.3209																				
	Creuset vide	30.31.06																				
	Poids du résidu	0.0103																				
	% SO ₄ ²⁻	0.35329																				
CARBONATES NFP 15-461	V NaOH	9.9																				
	% CaCO ₃	1																				
CHLORURES Méthode de Mohr	PH _i (initial)	8.67																				
	PH _t (titrage)	6.50																				
	V _{AgNO3}	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2									
	V _m (moyen)	22.5																				
	% Cl ⁻	2.5*10⁻² %																				
% NaCl	4.18*10⁻² %																					
MATIERE ORGANIQUE NFP 94-055	% Matière organique	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	
		V _m =				V _m =				V _m =				V _m =				V _m =				
AUTRES ESSAIS																					
																					

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ÉQUIVALENT DE SABLE
NFP-18 598 Octobre 1991

Structure : D'OUARGLA
N° Dossier interne : 015/2017
Équipements utilisés:

Lieu de Travail : ...
Opérateur : KOUIDRI /TLILI
N° D'inventaire :L21_23_15

Date : 10/02/2017

Tableau (A-9): ÉQUIVALENT DE SABLE

Echantillon	
	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2
Hauteur totale H1 (cm)	9.3	9.6				
Hauteur de sable H2 (cm)	8.7	9.1				
H2 ES = ----- x 100 H1	93.54	94.79				
ES moyen (%)	94.165					

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

MICRO DEVAL EN PRÉSENCE D'EAU
NFP-18 572 Décembre 1990

Structure : unité d'Ouargla	Lieu de travail : salle de route
N°Dossier interne : 015/2017	Date : 29/01/2017
Échantillon : classe 8/15	Opérateur : KOUIDRI/TLILI
Équipements utilisés :BALANCE	N° D'inventaire : L21_23_15

Tableau(A-10):MICRO DEVAL EN PRÉSENCE D'EAU

Classe granulaire	Masse abrasive	Poids d'éléments > 1.6 mm m' (g)	Poids d'éléments < 1.6 mm m = M-m' (g)	MDE = $100 \cdot \frac{m}{M}$	Observations
10/14	5000	392.5	107.5	21.5	

L'Opérateur

Visa du responsable

A-10

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

LOS ANGELES
NFP-18 573 Décembre 1990

Structure :UNITE DE OUARGLA
N°Dossier interne : 015/2017
Échantillon : classe 8/15
Équipements utilisés : BALANCE

Lieu de travail : SALLE DE ROUTE
Date : 29/01/2017
Opérateur : KOUIDRI / TLILI
N° D'inventaire : L21-23-15

Tableau(A-11): LOS ANGELES

Classe granulaire	Nombre de boulets	Poids d'éléments > 1.6 mm m' (g)	Poids d'éléments < 1.6 mm m = M-m' (g)	LA = 100.----- m M	Observations
10/14	11	3792.5	1207.5	24.15	

L'Opérateur

Visa du responsable

A-11

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS
NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: UNITE DE OUARGLA

N° Dossier interne: 015/2017

Classe granulaire: SABLE DE DUNE

Prise d'essai:.....

Équipements utilisés :.....

Lieu de travail: SALLE

D'INTIFICATION

Date: 10/02/2017

Opérateur: Kouidri Djamila/Tlili
Mbarka

N°D'inventaire : L21_23_15

Tableau(A.3): ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS SABLE DE DUNE

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10					
8					
6.3					
5					
4					
3.15					
2.5					
2					
1.60					
1.25	0	0	0	100	100
0.63	6.24	6.24	0.624	99.37	99
0.315	248.44	254.68	25.468	74.532	75
0.160	579.26	833.94	86.394	16.606	17
0.080	142.38	976.32	97.632	2.368	2

L'opérateur

responsable

Visa du

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

NORMAL
 ESSAI PROCTOR
 MODIFIE
 NF P 94-093 September 1997

Structure : OGX
 N°Dossier interne : SB 03/17
 Echantillon : 01
 Prise d'essai : 5500g

Lieu de travail : SALLE DE ROUTE
 Température de séchage :
 Teneur en eau Opm :
 Densité sèche Max :

Date : 05-02-2017
 Opérateur: KOUIDRI / TLILI
 Équipements utilisés : BALONS
 N° D'inventaire : L21-23-15

Tableau(A.5): ESSAI PROCTOR

Poids d'eau ajoutée :	6% 330	8% 440	10% 550	12% 660	
Poids total humide :	7451	5761	7723	7676	
Poids du moule :	3647	3603	3647	3603	
Poids du sol humide :	3814	3958	4076	3575	
Poids du sol sec :	3593	3667	3707	2303	
Volume du moule :	2303	2303	2303	1.55	
Densité sèche :	1.56	1.59	1.61		
N° de la tare :					
Poids total humid :	587.4	633	423.4	549.6	
Poids total sec :	553.3	586.4	385.1	489.7	
Poids de la tare :	/	/	/	/	
Poids de l'eau :	34.08	46.6	38.3	59.9	
Poids du sol sec :	553.3	586.4	385.1	489.7	
Teneur en eau :					
Moyenne :	6.16	7.95	9.95	12.24	

L'opérateur

A-5

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE MODE OPÉRATOIRE COURS DE LABORATOIRE R.LANCHON BTS.DUT

Structure : unité d'Ouargla

N° Dossier interne : 015/2017

Échantillon : 3/8

Équipements utilisés : BALANCE

Lieu de travail : sale de route

Date :30/01/2017

Opérateur : KOUIDRI/TLILI

N° D'inventaire : L21_23_15

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V=5000$

Poids $P= 3840$

$P_1+T = 111294$ $P_1=7454$

$P_2+T= 11279$ $P_2=7439$

$P_3+T= 11280$ $P_3=7440$

$P_4+T= 11291$ $P_4=7451$

Poids moyen $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4 =7446$

Masse volumique apparente $P/V =1.49$

Masse volumique absolue :

Poids des agrégats secs $P_1= 300g$

Poids du récipient plein d'eau $P_2= 8097$

$P_3= P_1+P_2=1109.7$

Poids récipient + agrégats + eau=

$P_4= 997.8$

Volume des agrégats $V=P_3-P_4=111.9$

Masse volumique absolue $P1/V =2.68$

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE MODE OPÉRATOIRE COURS DE LABORATOIRE R.LANCHON BTS.DUT

Structure : unité d'Ouargla

N° Dossier interne : 01/2017

Échantillon : 8/15

Équipements utilisés : balance

Lieu de travail : salle de route

Date : 30/01/2017

Opérateur : KOUIDRI/TLILI

N° D'inventaire : L21_23_15

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V=5000$

Poids $P=3840$

$P_1+T = 11112$ $P_1=7272$

$P_2+T = 11154$ $P_2=7314$

$P_3+T = 11134$ $P_3=7294$

$P_4+T = 11128$ $P_4=7288$

Poids moyen $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4 = 7292$

Masse volumique apparente $P/V = 1.46$

Masse volumique absolue :

Poids des agrégats secs $P_1= 300g$

Poids du récipient plein d'eau $P_2= 809.7$

$P_3= P_1+P_2= 1109.7$

Poids récipient + agrégats + eau =

$P_4= 996.9$

Volume des agrégats $V=P_3-P_4= 112.8$

Masse volumique absolue $P1/V = 2.66$

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE
MODE OPÉRATOIRE COURS DE LABORATOIRE R.LANCHON
BTS.DUT

Structure : unité d'Ouargla

Lieu de travail : salle de route

N° Dossier interne : 015/2017

Date : 30/01/2017

Échantillon : sable de dune

Opérateur : KOUIDRI/TLIL

Équipements utilisés : BALANCE

N° D'inventaire : L21_23_15

Masse volumique apparente :

Masse volumique absolue :

Volume du récipient $V = 161.24$

Poids $P = 53.38$

$P_1 + T = 346.40$ $P_1 = 293.02$

$P_2 + T = 313.37$ $P_2 = 259.99$

$P_3 + T = 322.41$ $P_3 = 269.03$

$P_4 + T = 316.39$ $P_4 = 263.01$

Poids moyen $M = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 = 271.263$

Masse volumique apparente $P/V = 1.68$

Poids des agrégats secs $P_1 = 300$

Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 784.23$

$P_3 = P_1 + P_2 = 1084.23$

Poids récipient + agrégats + eau =

$P_4 = 968.47$

Volume des agrégats $V = P_3 - P_4 = 115.49$

Masse volumique absolue $P_1/V = 2.60$

L'Opérateur

Visa du responsable

ANNEXE B
PRESENTATION
DES ESSAIS REALISES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE D'ESSAI
MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE D'UNE EPROUVETTE
PAR PESEE HYDROSTATIQUE
NF P 98 – 250 - 6

Structure : unité d'Ouargla

Lieu de travail : salle de route

N° Dossier interne : 015/2017

Date : **02/04/2017**

Echantillon : duriez

Opérateur : Kouidri/tlili

Équipements utilisés : BALANCE

N° D'inventaire : L21_23_15

Tableau(B.6): MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

N° d'ordre	Désignation	Dosages			
		5%			
1	N° Eprouvette	03			
2	Epaisseur (cm)	10.437			
3	Masse de l'éprouvette (g)	1007.7			
4	Masse de l'éprouvette paraffinée (g)	1125.18			
5	Masse de la paraffine (4-3) (g)	117.48			
6	Masse volumique de la paraffine (g/cm ³)	0.9			
7	Volume paraffiné (5/6) (cm ³)	130.53			
8	Masse lue de l'éprouvette paraffinée et immergée dans l'eau (g)	483.39			
9	Volume brut (4-8) (cm ³)	641.79			
10	Volume net (9-7)	511.26			
11	Masse volumique de l'éprouvette (3/10) (g/cm ³)	1.97			

L'Opérateur

Visa du Responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI
DURIEZ SUR MÉLANGES HYDROCARBONÉS
NFP 98 - 251 -1 Septembre 2002.

Structure :DE OUARGLA

Lieu de travail: SALLE DE ROUT

N° Dossier interne: 015/2017

Date: 20/01/2017

Type de bitume: 40/50

Opérateur:Kouidri Djamilia /Tlili Mbarka

Equipements utilisés: APPERILLE DURIEZ

N°D'inventaire: L 21_23_15

COMPOSITION		%
Fraction	SD	29
Fraction	3/8	36
Fraction	8/15	30
Fraction	PL	5
Filler	/	/
Liant	40/50	5.36

• Température de référence du liant	160°C
• Type de malaxeur	SINMOG
• Date de confection de l'enrobé	02/04/2017
• Heure de fin de malaxage	
• Heure et date de confection des éprouvettes	
• Heure début de compactage	
• Date et heure d'immersion	
• Date et heure d'écrasement	

Tableau(B.5): ESSAI DURIEZ

N° Eprouvettes		01	02	04	05		
Poids Eprouvettes (g)		995.3	1006.5	1001.8	998.1		
Poids Eprouvettes après immersion (g)							
Hauteurs des éprouvettes (au pied à coulisse) (mm)		93.91	98.36	97.31	100.20		
		94.14	98.57	97.59	100.77		
		94.12	98.51	97.88	100.51		
Moyenne des hauteurs (mm)		94.05	95.69	97.59	100.49		
Diamètres des éprouvettes (au pied à coulisse) (mm)		80	80	80	80		
Volume des éprouvettes : ($\pi.R^2.H$) (cm ³)		1890.2	1320.1	1961.2	2019.4		
Masse volumique apparente (g/cm ³)	• Mesure géométrique						
	• Mesure hydrostatique						
Charge totale kN		43.762	40.431	35.812	31.943		
RC (Bars)		88.848	82.085	72.707	64.852		
Rapport r/R		0.80					

L'Opérateur

Visa du Responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE D'ESSAI
MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE D'UNE EPROUVETTE
PAR PESEE HYDROSTATIQUE
NF P 98 – 250 - 6

Structure : unité d'ouargla

Lieu de travail : salle de route

N° Dossier interne : 015/2017

Date : 28/02/2017

Echantillon : marshall

Opérateur : TLILI/KOUIDRI

Équipements utilisés : BALANCE

N° D'inventaire : L21_23_15

Tableau(B.4): MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE D'UNE EPROUVETTE

N° d'ordre	Désignation	Dosages		
		10%	5%	7.5%
1	N° Eprouvette	P1	P4	P3
2	Epaisseur (cm)	7.84	7.16	7.3
3	Masse de l'éprouvette (g)	1184.8	1200.5	1209.2
4	Masse de l'éprouvette paraffinée (g)	1267.06	1272.13	1318.40
5	Masse de la paraffine (4-3) (g)	82.26	65.63	109.2
6	Masse volumique de la paraffine (g/cm ³)	0.9		
7	Volume paraffiné (5/6) (cm ³)	91.4	72.92	121.33
8	Masse lue de l'éprouvette paraffinée et immergée dans l'eau (g)	574.48	619.49	599.83
9	Volume brut (4-8) (cm ³)	692.58	652.64	718.57
10	Volume net (9-7)	601.18	579.72	597.24
11	Masse volumique de l'éprouvette (3/10) (g/cm ³)	1.955	2.081	2.025

L'Opérateur

Visa du Responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE D'ESSAI

MARSHALL SUR MELANGES HYDROCARBONES

Structure : d'Ouargla

Lieu de travail : salle de route

N° Dossier interne : 015/2017

Date : 18/02/2017

Type de bitume : 40/50

Opérateur : KOUIDRI/TLILI

Équipements utilisés : appareil de Marshall

N° D'inventaire : L 21_23_2017

COMPOSITION		(%)
Fraction	SD	29
Fraction	3/8	36
Fraction	8/5	30
Filler	PL	5
Liant	40/50	5.36

* Type de malaxeur	SINMOG
* Température de référence du bitume	160°
* Date de confection de l'enrobé	25/02/2017
* Heure de fin de malaxage	
* Heure et date de confection des éprouvettes	
* Heure début de compactage	
* Heure d'immersion à 60° pendant 30mn	
* Heure d'écrasement	
* Nombre de coups par face	50

Tableau(B.2):ESSAI MARSHALL (PL*5%)

N° Eprouvettes		01	02	03
Poids Eprouvettes	(g)	1200.9	1203.8	1205.2
Hauteurs des éprouvettes (au pied à coulisse)	(mm)			
Moyenne des hauteurs	(mm)	70.92	72.46	70.90
Diamètre des éprouvettes	(mm)	100	100	100
Volume des éprouvettes : ($\pi R^2 \cdot H$)	(c m ³)	556.772	568.811	556.565
Masse volumique apparente des éprouvettes: (g/cm ³)				
-Mesure géométrique				
-pesée hydrostatique				
Stabilité MARSHALL	(DécaN)	1688.7	1417.9	2096.4
Stabilité MARSHALL (corrigée)	(DécaN)			
Moyenne : Stabilité	(DécaN)	1734.33		
Déformation 1/10 (mn)	Lecture initiale			
	Lecture finale			
Moyenne fluage MARSHALL	1/10 (mn)	3.661		

L'Opérateur

Visa du Responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE D'ESSAI

MARSHALL SUR MELANGES HYDROCARBONES

Structure : D'OUARLA

Lieu de travail : salle de route

N° Dossier interne : 015/2017

Date : 18/02/2017

Type de bitume : 40/50

Opérateur : KOUIDRI/TLILI

Équipements utilisés : appareil de Marshall

N° D'inventaire : L21_23_2017

COMPOSITION		(%)
Fraction	SD	26.5
Fraction	3/8	36
Fraction	8/15	30
Filler	PL	7.5
Liant	40/50	5.36

* Type de malaxeur	SINMOG
* Température de référence du bitume	160°
* Date de confection de l'enrobé	28/02/2017
* Heure de fin de malaxage	
* Heure et date de confection des éprouvettes	
* Heure début de compactage	
* Heure d'immersion à 60° pendant 30mn	
* Heure d'écrasement	
* Nombre de coups par face	50

Tableau(B.3):ESSAI MARSHALL (PL*7.5%)

N° Eprouvettes		02	03	04
Poids Eprouvettes (g)		1205.2	1203.8	1201.9
Hauteurs des éprouvettes (au pied à coulisse) (mm)				
Moyenne des hauteurs (mm)		73.82	73.16	73.55
Diamètre des éprouvettes (mm)		100	100	100
Volume des éprouvettes : ($\pi R^2 \cdot H$) (c m ³)		579.487	574.306	577.367
Masse volumique apparente des éprouvettes: (g/cm ³)				
-Mesure géométrique				
-pesée hydrostatique				
Stabilité MARSHALL (DécaN)		1880.6	2644.1	2207
Stabilité MARSHALL (corrigée) (DécaN)				
Moyenne : Stabilité (DécaN)		2243.9		
Déformation 1/10 (mn)	Lecture initiale			
	Lecture finale			
Moyenne fluage MARSHALL 1/10 (mn)		4.09		

L'Opérateur

Visa du Responsable

B-3

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE D'ESSAI

MARSHALL SUR MELANGES HYDROCARBONES

Structure : d'ouargla

Lieu de travail : salle de rout

N° Dossier interne : 015/2017

Date :

Type de bitume : 40/50

Opérateur : KOUIDRI/TLILI

Équipements utilisés : appareil de Marshall

N° D'inventaire : L 21_23_15

COMPOSITION		(%)
Fraction	SD	24
Fraction	3/8	36
Fraction	8/15	30
Filler	PL	10
Liant	40/50	5.36

* Type de malaxeur	SINMOG
* Température de référence du bitume	160°C
* Date de confection de l'enrobé	22/02/20147
* Heure de fin de malaxage	
* Heure et date de confection des éprouvettes	
* Heure début de compactage	
* Heure d'immersion à 60° pendant 30mn	
* Heure d'écrasement	
* Nombre de coups par face	50

Tableau(B.1):ESSAI MARSHALL (PL*10%)

N° Eprouvettes		02	03	04
Poids Eprouvettes (g)		1198.5	1200.4	1200.2
Hauteurs des éprouvettes (au pied à coulisse) (mm)				
Moyenne des hauteurs (mm)		78.39	77.78	75.29
Diamètre des éprouvettes (mm)		100	100	100
Volume des éprouvettes : ($\pi R^2 \cdot H$) (c m ³)		615.36	610.57	519.03
Masse volumique apparente des éprouvettes: (g/cm ³)				
-Mesure géométrique				
-pesée hydrostatique				
Stabilité MARSHALL (DécaN)		1591	1843	2653
Stabilité MARSHALL (corrigée) (DécaN)				
Moyenne : Stabilité (DécaN)		2029		
Déformation 1/10 (mn)	Lecture initiale			
	Lecture finale			
Moyenne fluage MARSHALL 1/10 (mn)		4.551		

L'Opérateur

Visa du Responsable

B-1

ANNEXE C

DETAILL DE CALCUL

ANNEXE ((C))

DETAILL DE CALCUL

Exemple : avec un mélange de teneur en liant à **5.36%** et pourcentage de déchets est **5 %**:

C.1. La densité apparente et la densité absolue:

❖ La densité apparente se déduit par : $\gamma_{app} = \frac{P_0}{V_0} (g/cm^3)$

A-N :

Donc : $\gamma_{app} = 2.081(g/cm^3)$

❖ La densité absolue se déduit par : $\gamma_{abs} = \frac{100+p_b}{\left(\frac{P_b}{\gamma_b}\right) + \left(\frac{P_{G1}}{\gamma_{G1}}\right) + \left(\frac{P_{G2}}{\gamma_{G2}}\right) + \dots}$

AVEC :

- ♦ γ_{abs} : la densité absolue de l'éprouvette (g/cm^3).
- ♦ γ_b : la densité du bitume.
- ♦ γ_{G1} : la densité de l'agrégat 1.
- ♦ , γ_{G2} , γ_{G3} celles des agrégats 2, 3...etc
- ♦ P_b : le pourcentage en poids du bitume.
- ♦ P_{G1} , P_{G2} ...ceux des agrégats.

A-N : $\gamma_{abs} = \frac{100+5.36}{\left(\frac{5.36}{1.006}\right) + \left(\frac{5}{0.9209}\right) + \left(\frac{29}{2.6}\right) + \left(\frac{30}{2.66}\right) + \left(\frac{36}{2.68}\right) \dots}$

Donc : $\gamma_{abs} = 2.260(g/cm^3)$

C.2. Pourcentage des vides V_v (%) :

❖ La Pourcentage de vide se déduit par : $V_v = \frac{100(\gamma_{abs} - \gamma_{app})}{\gamma_{abs}}$

A-N: $V_v = \frac{100(2.60 - 2.081)}{2.60}$

Donc : $V_v = 7.920$ (%)

C.3. La compacité C (%) :

❖ La compacité se déduit par : $(C = (100 - V_v))$

A-N: $(C = (100 - 7.920))$

Donc : $C = 92.08$ (%)

C.4. Pourcentage d'imbibition W (%) :

❖ Pourcentage d'imbibition se déduit par : $W = \frac{100(P_H - P_0)}{P_0}$

AVEC :

P_H : le poids de l'éprouvette imbibée après 7 jours d'imbibition.

P_0 : étant le poids de l'éprouvette avant immersion

A-N:

$$W_1 = \frac{100(1022.6 - 1001.8)}{1001.8} = 2.076$$

$$W_2 = \frac{100(1012.4 - 998.1)}{998.1} = 1.43$$

Spécifications de sable bitume selon les normes de LCPC

Essais	Caractéristiques	Spécifications T < 1000 v/j
Marshall	Stabilité (kg)	≥ 300
	Compacité (%)	87- 94
Duriez	Stabilité à sec (kg/cm ²)	≥ 35
	Stabilité en immersion (kg/cm ²)	≥ 24,50
	Compacité (%)	85- 92
	Rapport r/R	0,7

Spécifications de béton bitumineux 0/14 selon les normes de LCPC

Essais	Caractéristiques	Spécifications
Marshall	Stabilité (kg)	≥ 1200
	Compacité (%)	95 - 97
	Fluage (mm)	< 4
Duriez	Résistance à la compression avant immersion (kg/cm ²)	≥ 70
	Résistance à la compression avant immersion (kg/cm ²)	≥ 56
	Compacité (%)	85- 92
	Rapport (r/R)	> 0,8

Spécifications de béton bitumineux 0/14 selon les normes Algériennes

Essais	Caractéristiques	Spécifications
Marshall	Stabilité (kg)	≥ 1000,5
	Compacité (%)	95- 97
	Fluage (mm)	< 4
Duriez	Rapport (r/R)	≥ 0,7
	Compacité (%)	85- 92