

IV.1.Introduction

Ce chapitre résume les principaux résultats d'essais des matériaux bitumineux à savoir les granulats, le bitume et le PR PLAST MODULE ; et étudie l'influence de la teneur en PR PLAST MODULE sur le comportement mécanique des enrobés.

La partie expérimentale de cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire Contrôle Technique des Travaux Publics (CTTP) et l'essai de fluage statique a été réalisé au laboratoire routes et aérodromes de la faculté de Génie Civil de l'université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB).

L'étude de formulation des enrobés à module élevé EME/14 consiste à chercher la teneur optimale en liant et en additif pour assurer un certain seuil de :

- ✓ Stabilité, fluage et compacité Marshall,
- ✓ Résistance à l'eau (désenrobage),
- ✓ Module de rigidité.

Pour ce faire, nous avons :

- Identifié et classé les composants de base rentrant dans la constitution des matériaux étudiés soient les granulats et le bitume.
- Arrêté la courbe du mélange granulaire composé des trois fractions granulométriques (0/3, 3/8, 8/15).
- Déterminé la teneur optimale en bitume et en additif à l'égard des spécifications de compacité, de résistance mécanique (Marshall et Duriez) et du module de rigidité en vigueur en Algérie.
- Etabli des conclusions concernant la qualité des matériaux de base ainsi que de l'enrobé bitumineux.

IV.2.Identification des matériaux utilisés :

IV.2.1.Les granulats

Les granulats utilisés pour la mise en œuvre des éprouvettes d'enrobés bitumineux peuvent faire l'objet d'une étude détaillée, dans notre mémoire nous avons présenté quelques essais.

IV.2.1.1. Provenance des matériaux granulaires :

Les matériaux ont été acheminés au laboratoire par les soins du CTPP. Les fractions granulaires 0/3,3/8,8/15 proviennent de la carrière MHIR .

Tableau IV.1-Provenance des granulats utilisés.

Matériau	Carrières	Entreprise d'exploitation
Sable 0/3	Carrière MHIR	SARL AGREME
Gravier 3/8	Carrière MHIR	SARL AGREME
Gravier 8/15	Carrière MHIR	SARL AGREME

IV.2.1.2. Identification des constituants granulaires

- **Caractéristiques intrinsèques :**

Les caractéristiques intrinsèques ont concerné :

- La résistance au choc :Essai LOS ANGELES (NF EN 1097-2)
- La résistance à l'usure en présence d'eau : Essai MICRO-DEVAL(NF EN 1097-1)
- La masse volumique (NF EN 1097-6)

Les résultats de ces essais sont regroupés dans le tableau IV-2

Tableau IV.2 Caractéristiques intrinsèques des granulats.

Essais	Référence	0/3	3/8	8/15	spécification
Masse volumique réelle [t/m ³]	NF EN 1097-6	2,64	2,68	2,69	
LA [%]	NF EN 1097-2	-	21,48	21.22	≤25
MDE [%]	NF EN 1097-1	-	15,60	15.80	≤20

- **Caractéristiques de fabrications des granulats**

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

- L'analyse granulométrique (NF EN 933-1),
- L'essai d'aplatissement (NF EN 933-3),
- La propreté superficielle (NF P18-591),
- L'équivalent de sable (NF EN 933-8).

Les résultats de ces essais sont regroupés dans le tableau IV-3.

Tableau IV-3. Caractéristiques de fabrication des agrégats

Essais	Résultats			Spécifications
	8/15	3/8	0/3	
Coefficient d'aplatissement [%]	10.96	23.64	-	≤ 25
Propreté superficielle [%]	0,4	0,9	-	< 2
Equivalent de sable à 10% de fines [%]	-	-	88.40	≥ 60

Les résultats de L'analyse granulométrique dans la Figure IV-1

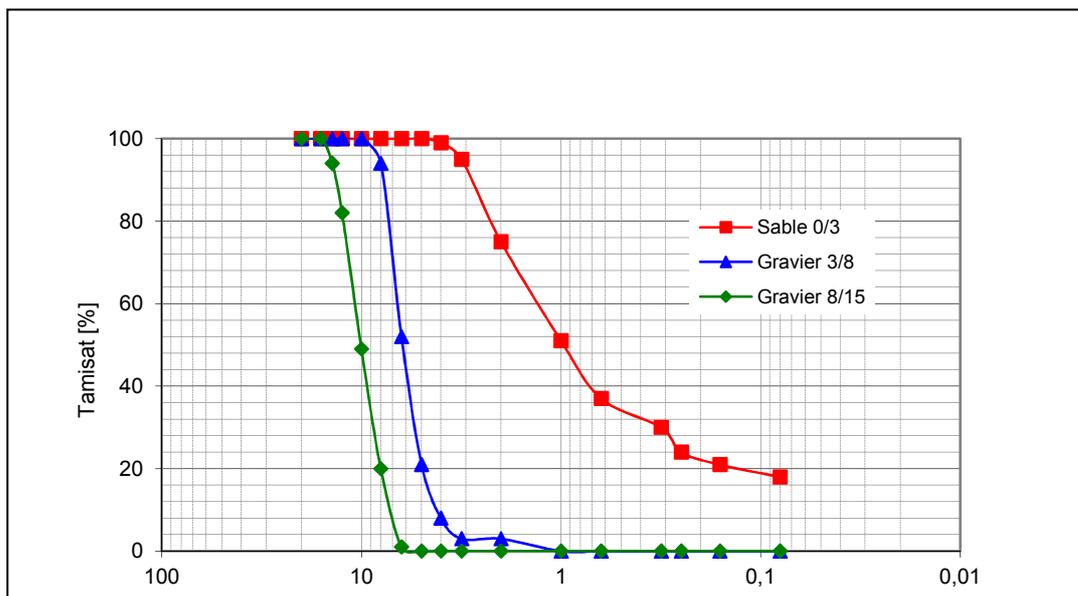


Figure IV-1 : courbes granulométriques des fractions granulaires

- Commentaires

- ✓ Du point de vue caractéristiques intrinsèques des granulats, les résultats obtenus en fonction de leur utilisation en enrobé à module élevé sont conformes aux spécifications de la classe « C » de la norme NF P 18 - 545.
- ✓ Concernant les caractéristiques de fabrication des granulats, les résultats sont conformes aux spécifications exigées vis-à-vis de la forme, de la granulométrie et de la propreté. Ces caractéristiques de fabrication les classent dans la catégorie « III ». Les caractéristiques de fabrication du sable le classent dans la catégorie « a ».

(la classe « C » : $LA \leq 25\%$ et $MDE \leq 20\%$, la catégorie « III » : Propreté superficielle $f < 2\%$ et Coefficient d'aplatissement $FI \leq 25\%$, la catégorie « a » : Equivalent de sable $SE \geq 60\%$).

IV.2.2. Le bitume :

La campagne expérimentale a été effectuée avec un bitume 40/50 provenant de NAFTAL.

Caractéristiques du bitume

L'analyse du bitume au laboratoire a concerné les caractéristiques suivantes :

- Pénétrabilité à l'aiguille à 25⁰C (norme EN 1426)
- Point de ramollissement billes et anneaux (norme EN1427)
- Densité relative à 25⁰C (norme EN ISO 2592)
- Ductilité à 25 °C (norme NF 66 006).

Les résultats des essais sont donnés dans le tableau IV.5.

Tableau IV.4. Caractéristiques du bitume.

Type d'essai	Résultat	Spécifications
Pénétrabilité à 25 °C (1/10 mm)	42	35 - 50
Température Bille et Anneau « TBA » (°C)	51	50 - 58
Densité relative (g/cm ³)	1,03	1,0 à 1,05
Ductilité à 25 °C (cm)	> 100	> 70

Commentaire :

Le bitume analysé répond bien aux caractéristiques de la classe 40/50 selon la norme NFT65-001.

IV.2.3. Le PR Plast Module

L'additif nommé PR Plast Module utilisé pour la fabrication d' Enrobé à Module Elevé pour les couches d'assise a été fourni par la société PR Industrie.

Ce produit a été mis au point pour lutter contre l'orniérage des enrobés bitumineux et pour réduire les épaisseurs des couches en augmentant le module de rigidité.

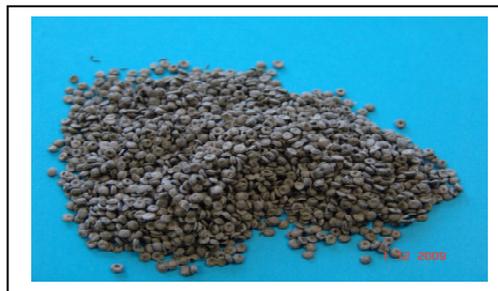


Figure IV-2. présentation du produit (PR Plaste Module)

Selon la fiche technique du produit donnée dans l'annexe du présent rapport, le PR Plast Module se présente sous forme de granulés de 3 mm. Ces caractéristiques physiques sont résumées dans le tableau IV.5.

*Tableau IV.5. Caractéristiques du PR Plast Module
Selon la fiche technique du produit.*

<i>Propriétés</i>	<i>Valeurs</i>
Densité	0,93 - 0,965 gr/cm ³
Point de fusion	175 °C
Granulométrie	0/3 mm

IV.3. Etude de la formulation

L'étude de la formulation des enrobés bitumineux consiste à chercher la teneur optimale en liant pour assurer un certain seuil de stabilité, de compacité, et de fluage. Une étude de formulation consiste à :

- Choisir un mélange granulaire composé des trois fractions granulométriques (0/3, 3/8 et le 8/15) s'insérant parfaitement dans un fuseau de référence (fuseau SETRA / LCPC EME 0/14),
- Déterminer la teneur optimale en bitume à l'égard des spécifications de compacité et de résistance mécanique (Marshall, Duriez) en vigueur en Algérie,

IV.3.1. Choix de la formule granulaire

L'objectif visé est de maîtriser la disposition granulaire du squelette minéral et choisir une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait conférer une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné.

Celui-ci se fait par combinaison des fractions granulaires utilisées de manière à ce que le mélange s'insère dans un fuseau de référence.

Le fuseau de référence utilisé est celui d'un enrobé a module élevé 0/14 (EME 0/14) dont les valeurs limites sont données dans le tableau IV-6.

Tableau IV.6. Courbe granulométrique de départ EME 0/14 [15]

Les tamis (mm)	Fuseau de EME 0/14	
	Mini	maxi
6.3	50	70
4	40	60
2	25	38
0.315	13	21
0.08	6	9
0.063	5.4	7.7

Pour que la courbe de mélange s'insère dans le fuseau de référence, la composition granululaire du tableau IV.7 a été retenue .

Tableau IV.7. Composition du mélange granulométrique,

Fractions	Pourcentage (%)
Sable 0/3	42
Fraction 3/8	20
Fraction 8/15	38



Figure IV-3. Courbe granulométrique du mélange granulaire et fuseau de référence LCPC des EME 0/14

La courbe granulométrique s'insère parfaitement dans le fuseau de référence préconisé en Algérie pour les enrobés à module élevé EME 0/14.

IV.3.2. Détermination des teneurs en bitume

Pour déterminer la teneur optimale en liant, on introduit la notion de surface spécifique des granulats notée Σ et exprimée en m^2/kg , c'est-à-dire la surface développée qu'auraient les granulats assimilés à des sphères.

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique Σ : [14]

$$100 \Sigma = 0,25 G + 2,3 S + 12 s + 150 f \dots \dots \dots (IV.1)$$

Avec : G : des éléments supérieurs à 6.3 mm,

S : des éléments compris entre 6.3 et 0.25 mm,

s : des éléments compris entre 0.25 et 0.063 mm,

f : des éléments inférieurs à 0.063 mm.

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

$$P = \alpha \cdot k \cdot \sqrt[5]{\Sigma} \dots \dots \dots (IV.2)$$

Avec : P : teneur en liant (%)

α : coefficient destiné à tenir compte de la masse volumique réel des granulats « MVR_g ». Si celle-ci diffère de $2.65 t/m^3$, on utilise la formule suivante :

$$\alpha = \frac{2.65}{MVR_g} \dots \dots \dots (IV.3)$$

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

K : module de richesse qui caractérise l'épaisseur moyenne du film de bitume autour des granulats (k minimum pour un EME 0/14 est de 3.4).

Les teneurs en liant en fonction des modules de richesse sont données dans le tableau IV.8 :

Tableau IV.8. Teneurs en bitume retenues

<i>Formule</i>	<i>TL1</i>	<i>TL2</i>	<i>TL3</i>
Module de richesse	3,40	3,55	3,70
Teneur en liant (%)	5,58	5,82	6.07

TLi : teneur en liant N⁰i

IV.3.3. Essais de performances mécaniques

Afin de déterminer la formule optimale pour le meilleur teneur en liant dans la formulation de base (sans ajout), les essais réalisés sont :

- Essai MARSHALL (NF EN 12697-34).
 - Essai Duriez (NFP 98-251-1).
- **Essai MARSHALL:** l'essai MARSHALL à été réalisé sur la norme (NF P 98-251-2):



Figure IV-4 compacteur automatique



Figure IV-5 presse MARSHALL

- **Essai Duriez :** l'essai Duriez a suivi la norme (NFP 98-251-1) :



Figure IV-6. Presse DURIEZ

Les résultats de formulation de l'essai Marshall (NF P 98-251-2) sont donnés dans le tableau IV-9 ainsi que les figures IV6 à IV9:

Tableau IV.9. Résultats des essais Marshall et Duriez

Formule granulaire		Résultats			Spécifications
		TL1	TL2	TL3	
MARSHALL	Teneur en bitume (%)	5,58	5,82	6,07	-
	Densité réelle	2.39	2.35	2.38	
	Compacité	96.55	95.91	96.14	92-97
	% vide	3.45	4.09	3.86	<8
	Stabilité (KN)	9.76	10.53	9.04	≥10.5
	Fluage (mm)	3.39	3.04	4	≤4
	Quotient Marshall	2.60	3.22	2.26	-
DURIEZ	Tenue à l'eau Rimm/Rsec	0.98	1	0.86	>0.75

➤ **Résultats des essais préliminaires pour déterminer la teneur optimale en bitume**

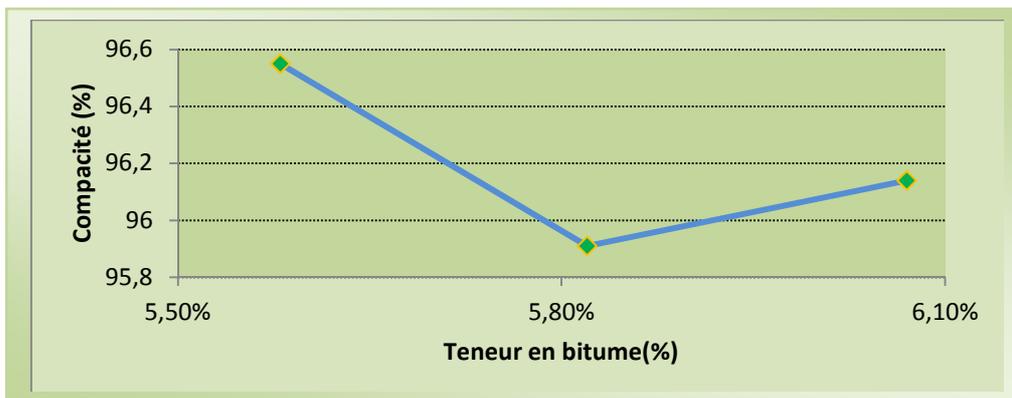


Figure IV.7: Variation de la compacité Marshall en fonction de la teneur en bitume

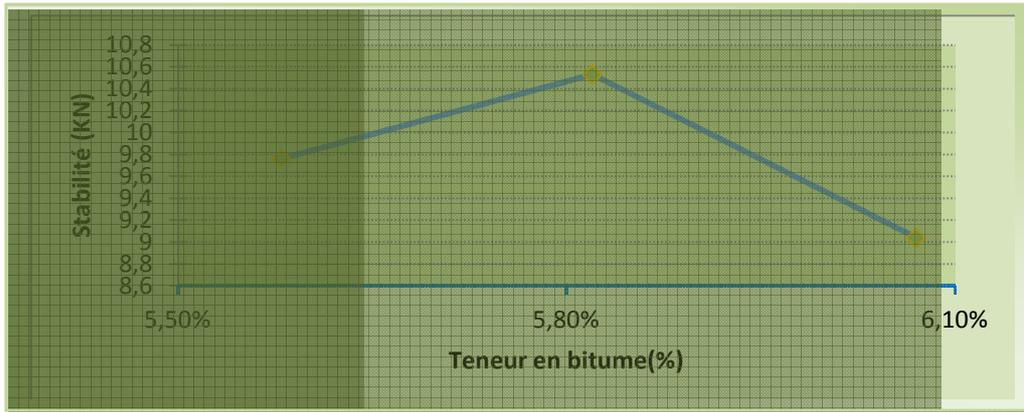


Figure IV.8: Stabilité Marshall en fonction de la teneur en bitume

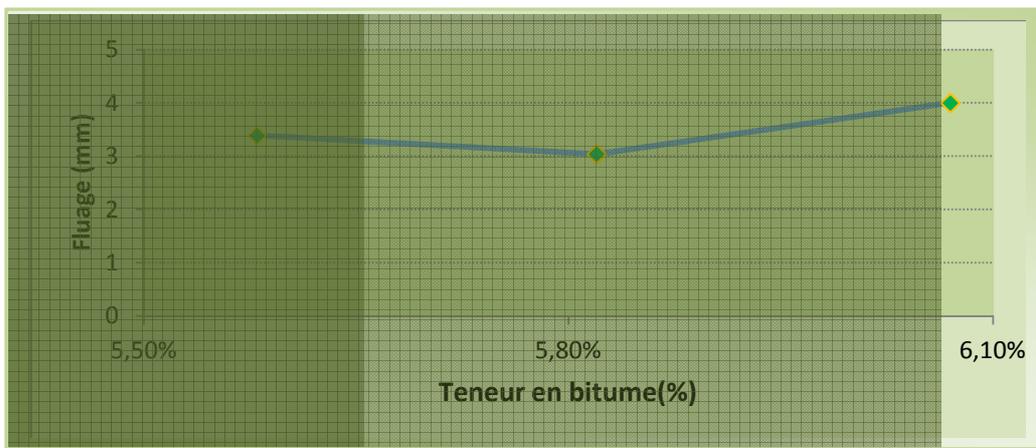


Figure IV.9: Variation du fluage Marshall en fonction de la teneur en bitume



Figure IV.10: Variation du quotient Marshall en fonction de la teneur en bitume

Commentaires

- La compacité Marshall est minimale pour la deuxième teneur en bitume soit TL2 = 5.82%
- Le fluage Marshall est minimal pour la deuxième teneur en bitume soit TL2 = 5.82%
- La stabilité Marshall est maximale pour la deuxième teneur en bitume TL2 = 5.82%

-Le Quotient Marshall est maximal pour la deuxième teneur en bitume TL2 =5.82%

Suite aux résultats obtenus, les stabilités et les résistances au fluage Marshall sont conformes aux spécifications et les mélanges hydrocarbonés ont montré une tenue à l'eau satisfaisante.

Alors on prendra une teneur optimale en bitume 5.82% .

IV.4.Conclusion :

En finalité la composition de l'enrobé **de base est donnée** dans le tableau IV.10

Tableau IV.10. Composition du mélange granulométrique,

<i>Fractions granulaires</i>	<i>Pourcentage (%) pondéral</i>
Sable 0/3	42
Fraction 3/8	20
Fraction 8/15	38
teneur en bitume(%)	5.82