

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique**



**Université Kasdi Merbah Ouargla**

**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Département de Génie Civil et Hydraulique**

**Mémoire De Master  
Spécialité : Génie Civil**

N° d'ordre :

N° de série :

**Option : Etude et Control des Bâtiments et Routes**

**Présenté par : KRIBA Seif Errahmane**

**Thème**

**ETUDE DE FATIGUE D'UNE ENROBE BITUMINEUX  
RENFORCE PAR LES GEOSINTHETIQUES**

**Soutenu Publiquement le : 04/07/2019**

**Devant le Jury Composé de :**

**KHENGAOUI Safia**

**Doctorante**

**UKMOuargla**

**President**

**BOUCHERBA Mohammed**

**Doctorant**

**UKMOuargla**

**Examineur**

**BAZZINE Rabia**

**Ingénieur d'étude / Doctorante**

**DTP/UKMO**

**Encadreur**

**Année Universitaire : 2018/2019**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire A mes chers parents ; ma mère et mon père pour  
leur patience, leur amour,*

*Leur soutien et leurs encouragements.*

*A mes très chères sœurs Nour el Houda ,Anfale et mes frères  
Massaoud et Abd elgani*

*A tout ma grande famille et tout qu'a une relation avec elle  
de proche ou loin.*

*A mes amis et mes est collègues de l'université.*

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



*Kriba Seif Errahmane*



## **REMERCIEMENT**

*Dans le cadre de la réalisation de cette étude, je remercie avant tous DIEU tous puissants, de m'avoir accordé la santé, guidée vers le bon chemin et de m'avoir permis d'accomplir la présente recherche.*

*On tient à exprimer notre remerciement et gratitude à mon encadreur BAZZIN Rabia pour la bienveillance avec laquelle ils ont guidé notre travail, pour leur soutien, ainsi que pour les précieux conseils qu'ils nous ont prodigué. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.*

*On tient à remercier à M KHENGAOUI Safia, qu'il nous a fait un grand honneur de présider notre jury de thèse.*

*On tient à remercier vivement Monsieur BOUCHERBA Mohammed, qui nous a fait l'honneur d'être l'examineur de notre travail.*

*On profite de remercier l'ensemble des enseignants du département de génie civil pour les efforts qui ont fourni lors de notre formation.*

*On voudrait également remercier l'ensemble des personnels L.T.P.Sud pour soutien durant l'élaboration de ce travail.*

*On associe à ce remerciement toutes les personnes qui, directement ou indirectement ont contribué à la réalisation de ce travail.*

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	I
I. GENERALITE SUR LES ENROBES BITUMINEUX	4
I.1. Introduction	4
I.2. COMPOSITION DES ENROBES BITUMINEUX	4
I.2.2. Granulats	6
I.3. Rôle des composants dans les enrobés bitumineux	8
I.3.1. Bitume dans les routes	8
I.3.2. Granulats	9
I.3.3. Sables	10
I.4. Etude de formulation	10
II. APERÇU SUR LES MATERIAUX GEOSYNTHETIQUES	16
II.1. Introduction	16
II.1.2. Définition des Géosynthétique	16
II.2. Historique	16
II.3. Les Fonctions principaux des géosynthétiques	17
II.4. Les types les plus utilisés	18
II.4.1. Geotextiles	18
II.4.2. Geocomposite	19
II.4.3. Geogrille	19
II.5. Domaines d'emploi	19
II.5.1. Utilisation des géosynthétiques dans le domaine routier	19
II.6. Exemples d'utilisation des géosynthétiques	20
II.7. Les applications principales des géosynthétiques	22
II.8. Principe des principaux essais	24
III. NOTION SUR L'ESSAIS DE LA FATIGUE	28
III.1. Introduction	28
III.2. Fonctionnement de la chaussée	28
III.3. FATIGUE DES BETONS BITUMINEUX	28
III.3.1. Définitions et critère d'évaluation	29
III.3.2. Prise en compte du phénomène de fatigue dans les chaussées	29
III.4. PRESENTATION GRAPHIQUE DES DUREES DE VIE	31
III.4.1. Courbe de fatigue ou courbe de Wöhler	31
III.5. Essais de laboratoire caractérisant la fatigue des enrobés bitumineux	32
III.6. Mécanisme de la fatigue	33
III.7. Essais de traction	34
III.7.1. Essai de traction - compression sur éprouvette cylindrique	34
III.8. Essais de flexion	34
III.8.1. Flexion 2 points	34
III.8.2. Flexion 3 points	35
III.8.3. Flexion 4 points	35
IV. CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES	33
IV.1. Introduction	33
IV.2. Liant hydrocarboné	33
IV.3. Gravier	33
IV.4. Sable	34

IV .5. Les géosynthétiques	37
IV .6. Résultats des essais	37
IV.7. Synthèse des résultats des essais (valeurs moyennes des caractéristiques principales)	43
V. ETUDE DE FORMULATION ET ANALYSE DES RESULTAS	49
V.1.Introduction	49
V.2.Etude de formulation	49
V.2.1.Composition granulaire	49
V.2.2.Essai Marshall	51
V.2.1.Essai de la fatigue	54
V.3. Résultat d'essai fatigue (NF EN 12697-24)	58
V.3.1.Éprouvette B-Emulsion-ECR-69	59
V.3.2.Éprouvette B géo-grille	59
CONCLUSION GENRALE	
ANNEEX	

## LISTE DES FIGURES

Figure I.2. Les deux familles de granulats	8
Figure I.3. Représentation schématique de l'énergie de cohésion et d'adhésion	9
Figure I.4. Exemple d'une courbe de mélange inscrite dans le fuseau de référence	13
Figure. II.1. Voies permanentes	20
Figure. II.2. Voies temporaires	20
Figure. II.3. Aires de parking	20
Figure. II.4. Elargissement de routes	21
Figure. II.5. Rénovation de l'asphalte	21
Figure. II.6. Aéroports	22
Figure. II.7. Voies ferrées	22
Figure.III.1. Schématisation des sollicitations induites par le trafic	28
Figure.III.2.Définition du critère classique de fatigue et détermination de la durée de vie $N_f$	29
Figure III.3. Principe de la modélisation d'une chaussée : logique des essais de fatigue sur enrobés	30
Figure III.4. Courbe de Wöhler	31
Figure.III.5. Signaux d'entrée et réponses dans les deux modes de sollicitation	32
Figure .III.6. Distinction de trois phases différentes dans un essai de fatigue	33
Figure .III.7. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 2 points	34
Figure .III.8. Appareil de l'essai de flexion 2 points	35
Figure .III.9. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 3 points.	35
Figure .III.10. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 4 points.	36
Figure .III.11. Appareil de l'essai de flexion quatre points	36
Figure. IV.1: Le courbe granulométrique de sable	40
Figure. IV.2: Principe d'essai d'équivalent de sable	41
Figure. IV.4. Résultats de traction des bandes larges Echantillons 01	43
Figure. IV.5. Résultats de traction des bandes larges Echantillons 02	44
Figure. IV.6. Résultats de traction des bandes larges Echantillons 01	45
Figure. IV.7. Résultats de traction des bandes larges Echantillons 02	47

## Liste de Photo

Photo1.1 Enrobé bitumineux	4
Photo. IV.3: Type de géogridde HATELIT C40/17 utilise dans le renforcement	42
Photo.2. Courbe granulométrique de mélange	49
Photo V.3. Compositions granulaires du mélange	50
Photo V.4. Etapes de préparation des mélanges au niveau de laboratoire	50
Photo. V.5.L'éprouvette de Marshall	51
Photo. V.6. Epreuve dans les mâchoires	52
Photo. V.7.Appareil de compactage	52
Photo .V.8. Variation stabilité - teneur en bitume	53
Photo .IV.9. Variation fluage - teneur en bitume	53
Photo .V.10. Etapes de préparation de demi plaque de 1 ere couche	54
Photo .V.11. Étapes d'ajout d'émulsion sur la plaque de 1 ere couche	55
Photo .V.12. Rupture de l'émulsion après 1h	55
Photo .V.13. Dérouler le tapis de géogridde sur la plaque de 1ère couche	55
Photo .V.14. Une plaque renforcée par géogridde	56
Photo .V.15. Opération de coupe d'une plaque de fatigue	56
Photo .V.16. Etapes de former une éprouvette trapézoïdale a partir une plaque de 25 mm d'épaisseur	56
Photo .V.17. Ajustement de l'appareil et fixation des éprouvettes avant teste	57
Photo .V.18. Evolution de module de rigidité en fonction le nombre de cycles de chargements à éprouvette emulsion B	59
Photo .VI.19. Evolution de module de rigidité en fonction le nombre de cycles de chargements à éprouvette géogridde B	59
Photo .V.20. Histogramme Moyenne de Rigidité initial	60
Figure V.21. Histogramme Moyenne de Nombre de Cycles d'échec	60



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Caractéristiques des bitumes purs selon la norme européenne EN 12591	5
Tableau I.2. Classification suivant la granularité	6
Tableau I. 3. Valeur de fuseau d'un BBSG 0/10	13
Tableau II.1a : Fonctions principales des géosynthétiques	17
Tableau II.1b : Fonctions principales des géosynthétiques	18
Tableau II. 2 Fonctions/Applications des géosynthétiques	23
Tableau II.3 Essais d'identifications	24
Tableau II.4 Essais mécaniques	25
Tableau II.5 Essai de capacité de débit dans leur plan	26
Tableau IV.1. Caractérisation du liant	38
Tableau. IV.2. Résultat d'essai masses volumiques absolues de graviers	39
Tableau. IV.3. Résultat d'essai Micro-Deval	39
Tableau. IV.4: Résultat d'essai Los Angeles	40
Tableau. IV.5: Résultats d'aplatissement des graviers	40
Tableau. IV.6: Résultats de propreté des graviers	40
Tableau. IV.7: Résultat d'essai masses volumiques absolues de sable 0/3	41
Tableau IV.8: Résultats d'équivalent de sable	41
Tableau IV.9 : les force et charge applique sur les Echantillons 01	43
Tableau IV.10 : les force et charge applique sur les Echantillons 02	44
Tableau IV.11 : les force et charge applique sur les Echantillons 01	45
Tableau IV.12 : les force et charge applique sur les Echantillons 02	45
Tableau IV.13: détermination de la masse surfacique sur les Echantillon 01	46
Tableau IV.14: détermination de la masse surfacique sur les Echantillon 02	47
Tableau IV.15: les résultats des essais obtenus Echantillons 01	47
Tableau IV.16: les résultats des essais obtenus Echantillons 02	47
Tableau V.1. Teneur en liant adopté de la formulation	51
Tableau V.2. Résultats d'essai Marshall	53
Tableau V. 3. Les résultats de l'essai avec les quatre éprouvettes	58

# Liste des symboles

<b>F</b>	Filler
<b>s</b>	Sable fin
<b>S</b>	Sable grossier
<b>G</b>	Gravier
<b>K</b>	Module de richesse
<b><math>\Sigma</math></b>	Surface spécifique
<b>TL</b>	Teneur en liant
<b><math>M_{j+1+k}</math></b>	Masse des éprouvettes après k jours d'immersion dans l'eau, exprimée en grammes
<b>J</b>	Jours
<b>M</b>	Masse des éprouvettes $M_{j+1+k}$
<b>I</b>	Résistance à la compression avec immersion à 18°C en Kg/cm <sup>2</sup>
<b>C</b>	Résistance à la compression sans immersion à 18°C en Kg/cm <sup>2</sup>
<b>hmin</b>	La hauteur minimale correspondent un pourcentage de vide = 0 %
<b>H</b>	Hauteur des éprouvettes
<b>D</b>	Diamètre
<b>MVR</b>	Masse Volumique Réel
<b>MVA</b>	Masse Volumique Apparente
<b>V</b>	Pourcentage de vide
<b>PCG</b>	Presse Cisaillement Giratoire
<b>mij</b>	Déformation local en mm
<b>mij0</b>	La mesure initiale à l'emplacement
<b>Pi</b>	le pourcentage de profondeur d'ornière mesurée (%),
<b>E*</b>	Module complexe
<b> E* </b>	Module de rigidité
<b><math>\varphi</math></b>	Angle de phase

- E1** Module d'élasticité dynamique
- E2** Module de perte
- E<sub>0</sub>** Module de rigidité initiale avant fatigue
- S** la sollicitation imposée (contrainte ou déformation imposée)
- N** la durée de vie correspondante
- ε** La déformation correspondant une rupture à 1 millions cycles.
- ε<sub>6</sub>** La déformation correspondant une rupture à 1 millions cycles.

INTRODUCTION

*INTRODUCTION*  
GENERALE

# INTRODUCTION GENERALE

La recherche d'une plus grande durabilité des couches de surface et de meilleures résistances vis-à-vis la fatigue et l'orniérage des couches bitumineuses ont été les moteurs principaux des travaux de recherche et de développement menés depuis une quarantaine d'années pour améliorer les propriétés des enrobés bitumineux.

L'enrobé bitumineux dans sa configuration traditionnelle ne permet plus une résistance satisfaisante sous un trafic lourd et canalisé ainsi que les conditions climatiques qui sont à l'origine des déformations des couches supérieures des chaussées. Ces contraintes imposent la recherche de nouveaux matériaux pour palier aux insuffisances des enrobés ordinaires.

Cette amélioration pourrait s'obtenir par l'utilisation d'une nappe de géogrille noyée entre deux couches de liant appliquée sous forme d'émulsion, Ceci au cours de réalisation des nouvelles structures et même-ci lors la réhabilitation des voies fissurées et d'anciennes chaussées.

La géogrille est un matériau géosynthétique d'origine polymérique le plus utilisé dans la géotechnique routière a cause de lors forme (réseau des mailles) ; constituants ; rigidité et leur compatibilité avec la matrice bitumineuses. Ses caractéristiques permettant en effet d'augment la durée de vie des structures et minimisé le cout d'entretien des voies endommagés, elle forme avec le béton bitumineux un matériau composite des performances globales améliorés qui lui offre une bonne solution a l'accélération des dégradations et la perte des caractéristiques structurelles et fonctionnelles des chaussées provenant par les divers sollicitations dynamiques et climatique.

La géogrille peut être utilisée soit dans la couche de roulement ou bien dans la couche de base granulaire pour augmenter l'insuffisance des résistances de ces couches à la fatigue et pour réduisez l'ornière notant que leur adhésion au support est assurée par une couche d'émulsion.

Cette thèse s'inscrit dans un programme d'études en laboratoire de comportement d'une dalle en béton bitumineux renforcé par la géogridde en utilisant les différents dispositifs expérimentaux pour en arriver enfin à la modélisation et l'analyse numérique des résultats par la méthode des éléments finis en exposant les différentes interprétations entre les dalles renforcées par la géogridde et les dalles témoins (non renforcées) pour la meilleure compréhension du comportement de ce type d'ouvrage. Pour ce faire, le présent travail est divisé en trois grandes parties:

### **Première partie :**

Étude bibliographique :

La première partie comporte deux chapitres :

- Le premier chapitre nous permettra de présenter une recherche bibliographique sur les liants, les granulats et les produits bitumineux.
- Le deuxième chapitre est consacré à une étude bibliographique sur les géosynthétiques en générale et sur la géogridde en particulier qui représente l'élément principal de notre recherche.
- Le troisième chapitre présente une notion générale sur le phénomène de fatigue et sur l'essai de flexion 2 points.

### **Deuxième partie :**

Étude expérimentale:

- Le quatrième chapitre présente les caractéristiques des matériaux entrant dans la formulation de l'enrobé étudié, ainsi que la méthodologie à suivre lors du malaxage de ce mélange et enfin la mise au point des essais expérimentaux utilisés.
- Le cinquième chapitre présente :
  - Résultats et interprétation des essais effectués sur l'enrobé bitumineux non renforcé par la géogridde.
  - Résultats et interprétation des essais effectués sur l'enrobé renforcé par la géogridde.

Enfin conclusion sur l'influence de le renforcement sur le comportement mécanique de l'enrobé.

# CHAPITRE I

## Généralités

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES ENROBES BITUMINEUX

### I.1. Introduction

L'enrobé bitumineux est un matériau composite constitué d'un mélange de granulats (Figure I.1.a) (graviers, sables, fines) et d'un liant hydrocarboné (bitume, éventuellement des additifs) ; Les granulats assurent la structure rigide de l'enrobé et le bitume procure la cohésion de l'ensemble et il est responsable du caractère visqueux (Figure I.1.b) Chacun de ces deux constituants est défini par ses caractéristiques rhéologiques et mécaniques. La connaissance de ces caractéristiques permet d'obtenir la bonne tenue du mélange bitumineux [N. KEBAILI ; 2017].



a) Avant malaxage



b) Après malaxage

**Figure 1.1** Enrobé bitumineux.

### I.2. Composition des enrobes bitumineux

#### I.2.1 Les liants hydrocarbonés

Les liants hydrocarbonés sont des substances constituées essentiellement d'assemblages d'atomes de carbone et d'hydrogène qui, au contact de particules solides telles que les granulats par exemple, développent des forces d'adhésion et de cohésion assurant de la sorte une certaine rigidité, des résistances à la déformation en traction, compression et cisaillement. On distingue trois familles de liants hydrocarbonés [M.L. NGUYNE ; 2009].

a) **Les liants naturels** : que l'on trouve en l'état dans la nature, le plus souvent associés à des matières minérales, et qui sont utilisés depuis des temps très anciens. Il s'agit des roches asphaltiques qui, après broyage, donnent la poudre d'asphalte ainsi que des bitumes naturels.

b) **Goudrons** : qui proviennent de la pyrogénéation (à l'abri de l'air) de matières d'origine végétale : houille, lignite, bois, ... Les goudrons routiers sont essentiellement tirés de la houille.



c) **Bitumes** : qui sont produits en raffinerie à partir de la distillation fractionnée de certains pétroles bruts. Les bitumes sont employés en technique routière pour leurs propriétés cohésives, et d'étanchéité.

Pour des raisons principalement économiques mais aussi liées au comportement général de ces matériaux ou à des considérations d'environnement, les goudrons de houille ne sont plus guère utilisés en technique routière. En Algérie, lorsqu'on parle de liant hydrocarboné, il s'agit pratiquement toujours de bitume.

Les analyses chimiques mettent en évidence les constituants essentiels suivants [Y.LEFEUVRE ; 2001].

- Carbone : 79 a 88 %
- Hydrogène : 7 a 13 %
- Oxygène : 2 a 8 %
- Azote : 0 a 3 %
- Traces de métaux : Fe , Ni , Va , Ca , Ti , Mg , Co , Sn , Zn , et Ca

**Tableau I.1.** Caractéristiques des bitumes purs selon la norme européenne EN 12591 [B. LOMBARDI; 2005].

Caractéristiques	Unité	Norme	Désignation des classes appropriées				
			20/30	35/50	50/70	70/100	160/220
Pénétrabilité à 25 °C, 100g, 5s	1/10 mm	EN 1426	20-30	35-50	50-70	70-100	160-220
Point de ramollissement (TBA)	°C	EN 1427	55-63	50-58	46-54	43-51	35-43
Résistance au durcissement RTFOT à 163 °C			EN 12607-1				
variation de masse maximum	%	EN 12607-1	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0
pénétrabilité restante, minimum	%	EN 1426	55	53	50	46	37
TBA après RTFOT, minimum	°C	EN1427	57	52	48	45	37
augmentation du TBA, maximum	°C	EN1427	8	8	8	9	11
Point d'éclair	°C	EN ISO 2592	240	240	230	230	220
Solubilité, minimum	%(m/m)	EN 12592	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Teneur en paraffine, maximum	%(m/m)	EN 12606-2	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

### I.2.1.1. Origine du bitume

Tous les bitumes sont des produits du pétrole brut où ils se trouvent en solution. Ils sont le résultat de l'élimination des huiles servant de solvant par évaporation ou distillation du pétrole brut. Sachant que de tels processus pourraient se produire dans la nature, au niveau des couches souterraines, les bitumes proviennent en conséquence de deux sources : naturelle ou industrielle. [S. LALDJI ; 2015]

- Origine naturelle: La production mondiale est très faible puisqu'elle ne dépasse pas 200 milles tonnes.
- Origine industrielle

### I.2.1.2. Emulsions de bitume

L'émulsion est une dispersion très fine du bitume dans l'eau. Il en existe deux catégories : les émulsions anioniques et les émulsions cationiques.

La stabilité de la dispersion est obtenue par l'ajout d'un tensioactif qui réduit la tension interfaciale eau / bitume et polarise les globules de bitume soit négativement (émulsion anionique), soit positivement (émulsion cationique). C'est la nature du tensioactif qui détermine la polarité de l'émulsion. Les émulsions de bitume peuvent être mises en œuvre à température modérée ( $< 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), voire à température ambiante. Les émulsions cationiques sont aujourd'hui les plus utilisées en Algérie.

### I.2.2. Granulats

Les granulats proviennent de carrières où les roches massives sont concassées, ou bien sont d'origine alluvionnaire.

Les granulats sont répartis en différentes classes granulaires normées qui sont définies par le diamètre minimal et le diamètre maximal du granulat (Norme P18-101). Les granulats sont ainsi classés en fines, sables, gravillons, cailloux et graves. [Y.LEFEUVRE; 2001]

**Tableau I.2.** Classification suivant la granularité [M.L.NGUYNE; 2009]

Appellation	Notation	Dimension
Les fines	0/D	$D \leq 0.08\text{ mm}$
Les sables	0/D	$D \leq 6.3\text{ mm}$
Les gravillons	d/D	$d \geq 2\text{ mm}$ et $D \leq 31.5\text{ mm}$
Les graves	0/D	$D \leq 80\text{ mm}$

#### I.2.2.1. Rôles des granulats dans l'enrobe

Les granulats utilisés dans les enrobés en couche de roulement jouent un rôle de

première importance dans le phénomène d'adhérence pneus – chaussée. Sous l'effet de la circulation, les granulats en surface tendent à se polir plus ou moins rapidement selon leur nature et leur composition minéralogique.

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

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

Les granulats utilisés dans la confection des enrobés bitumineux doivent donc répondre à des critères de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage [J.M. FLEUREAU; 2002]

#### **1.2.2.2. Types des granulats et leur classification**

Les granulats utilisés pour composer un béton sont soit d'origine naturelle, artificielle ou alors recyclée.

##### ➤ **Granulats Naturels :**

Les granulats naturels d'origine minérale sont issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage). Ceux issus des gisements alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière ou en mer éventuellement [G. FRANQUEVILLE].

Géologiquement parlant, les granulats naturels sont de nature :

- Éruptives : granites, basaltes porphyres
- Sédimentaires : calcaires, grès, quartzites
- Métamorphiques : gneiss, amphibolites

##### ➤ **Granulats Artificiels :**

Les granulats artificiels sont soit des sous-produits de l'industrie sidérurgique, soit fabriqués en vue d'obtenir un produit particulier. Ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique des roches ou des minerais. Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé, obtenu par refroidissement lent à l'air ; le laitier granulé de haut fourneau, obtenu par refroidissement rapide dans l'eau et les granulats allégés par expansion ou frittage (l'argile ou le schiste expansés).

Les granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usage spécifique [INFOCIMENT, 2004].

### ➤ Granulats Recyclés :

Les granulats recyclés sont obtenus par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que ceux issus des ouvrages démolies suite à des sinistres naturels comme les séismes et les crues, ou par vieillissement et dégradations. Le recyclage a deux conséquences

écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles [R. MAILLOT ; 2001]

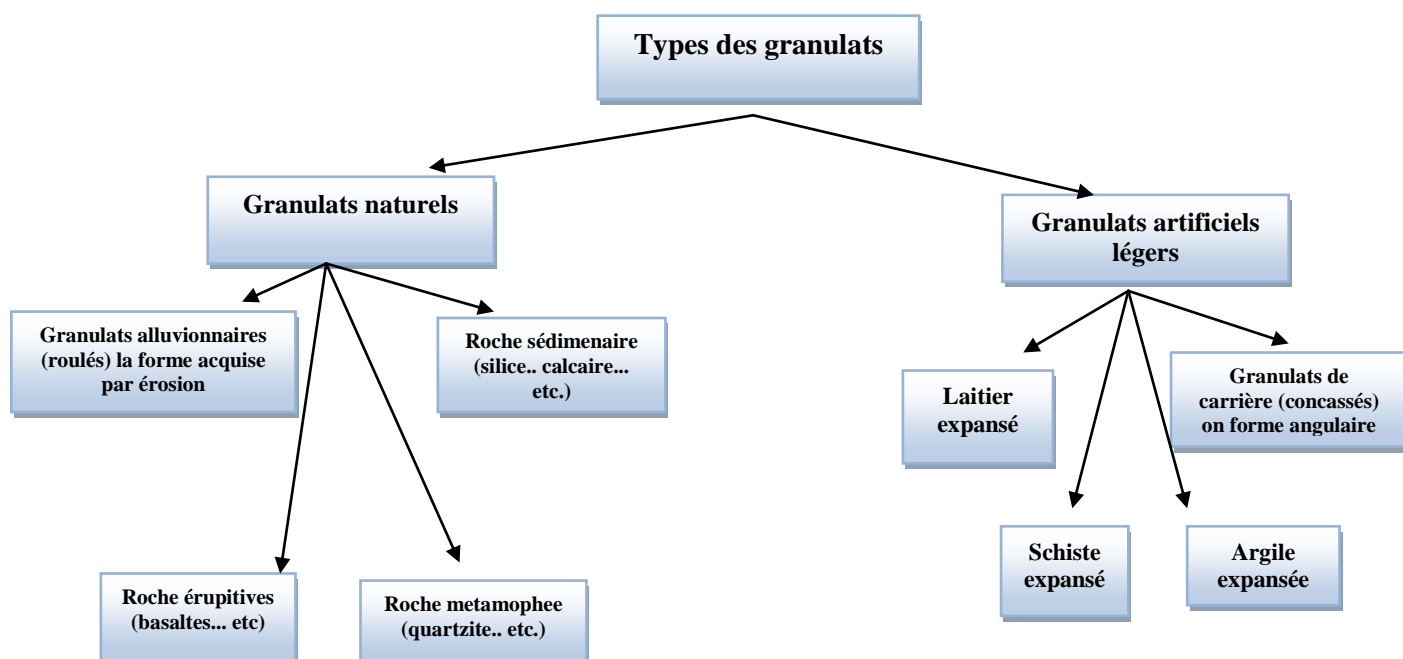


Figure I.2. Les deux familles de granulats [F.OLARD; 2003].

## I.3. Rôle des composants dans les enrobes bitumineux

### I.3.1. Bitume dans les routes

L'utilisation du bitume dans les routes se fait selon la mise en œuvre en deux axes.

- **Les enrobés bitumineux** : on distingue selon la mise en œuvre :
- Les enrobés à froid : fabriqués à température ambiante.
- Les enrobés à chaud : le bitume est mélangé aux granulats et aux fines à des températures élevées (environ 160°C) pour former un enrobé bitumineux.

- Les enrobés tièdes : se composent d'une famille d'enrobés préparés à chaud, dont la température de fabrication varie entre 80°C et 130°C.

**Les enduits superficiels** : concernent les bitumes fluidifiés (par addition de solvant) et fluxés (mélange de bitume avec des huiles de houille et des dérivés pétroliers) et les émulsions de bitumes obtenues par mélange avec des coupes plus légères, pour rendre le bitume fluide à température ambiante.

Ces bitumes fluidifiés et fluxés sont utilisés directement en épandage ou encore en enrobage de granulats. (Couche de granulat puis couche de bitume ainsi de suite selon les types des enduits superficiels) [S. KHENGAOUI ; 2013].

- ❖ **Liaison bitume – granulat** : Les propriétés mécaniques et la durabilité des enrobés bitumineux sont assurées par la stabilité de l'édifice granulaire, par les propriétés cohésives du bitume et par une bonne adhésion entre le bitume et les granulats. La figure ci-dessous illustre les différentes énergies d'adhésion et de cohésion [S. KHENGAOUI; 2013].



1) énergie d'adhésion

2) énergie de cohésion

Figure I.3. Représentation schématique de l'énergie de cohésion et d'adhésion [S. KHENGAOUI; 2013]

- **Wa**: énergie d'adhésion = énergie dépensée pour arracher un film de bitume fortement adsorbé sur la surface du granulat. (Figure I.3.1)
- **Wc**: énergie de cohésion = énergie dépensée pour décoller deux granulats unies par un film de bitume. (Figure I.3.2)

L'adhésion du bitume à un granulat est d'autant plus importante que le bitume le mouille parfaitement. Le pouvoir mouillant du bitume liquéfié et sa capacité à réaliser un contact étroit avec les surfaces des agrégats dépendent à la nature du solide considéré, à savoir la nature minéralogique du granulat et en grande partie de sa viscosité. Plus la viscosité du bitume est faible, plus son pouvoir mouillant est grand [S. KHENGAOUI; 2013].

### I.3.2. Granulats

Il y a plusieurs types de béton bitumineux. Cependant, il est possible de formuler un concept

d'un agrégat selon les performances désirées. Le choix d'un agrégat idéal à granulométrie voulue remplit les conditions suivantes : l'agrégat sera dur et résistant, constitué des particules angulaires ayant une porosité modérément faible, et les surfaces seront propres, rugueuses et hydrophobes.

Le rôle principal des fines est de remplir les vides du squelette granulaire conduisant ainsi à une augmentation de la compacité et à une meilleure imperméabilité de l'enrobé. Ces fines (ou filler) agissent par leur dosage sur les caractéristiques mécaniques de l'enrobé notamment sur la rigidité et la résistance à l'orniérage à haute température [F. OLARD, 2003].

### I.3.3. Sables

Le rôle de sable définie déterminer suivant la proposition de classe 0/2 présente dans la composition granulaire et elle résume en quatre cas [J.L. DELORME ; 2007] :

- > 35 % de passant à 2 mm courbe très haute : le mortier est en excès dans le squelette granulaire, la stabilité repose uniquement sur le mortier.
- 30 à 35 % de passant à 2 mm courbe haute : le mortier remplit la presque totalité de l'espace inter-gravillons. Le mortier joue un rôle important dans les caractéristiques du mélange.
- 25 à 30 % de passant à 2 mm courbe moyenne, formule grenue. Le mortier voit son influence atténuée par l'effet du squelette granulaire.
- < 25 % de passant à 2 mm courbe basse, le mortier est minoritaire, la stabilité est obtenue par un calage inter-gravillons.

### I.4. Etude de formulation

La qualité des matériaux utilisés influe grandement sur le comportement mécanique des enrobés. Les principaux éléments ayant la plus grande influence sur la résistance mécanique sont [S. KHENGAOUI; 2013]:

- Les caractéristiques intrinsèques des granulats.
- La composition minérale
- La teneur en 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.

### I.4.1. Vérification des caractéristiques des matériaux

Il est important de vérifier les performances de différentes composantes rentrants de la formulation d'enrobé, avant de réaliser une étude de composition.

#### a) Vérification des caractéristiques du liant:

A partir du liant destiné pour la formulation on doit prélever des échantillons représentatifs pour déterminer leurs caractéristiques physiques. Pour un bitume pur, on doit vérifier:

- La pénétrabilité
- Le point de ramollissement
- Température de fragilité (FRAAS)
- Essai RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test)

Les résultats obtenus doivent être comparées aux normes en vigueur pour se prononcer sur la conformité de produit. Dans le cas où le produit n'est pas conforme, on doit le changer.

#### b) Vérification des caractéristiques des agrégats:

Les agrégats destinés pour la formulation d'enrobé doivent faire l'objet de vérification de leurs caractéristiques intrinsèques et de fabrication. En effet des échantillons de chaque classe granulaire doivent être soumis aux essais de laboratoire à savoir :

Pour les classes de gravier :

- Analyse chimique sommaire
- Analyse granulométrique
- Les masses volumiques absolues et apparentes
- Le coefficient d'aplatissement
- Le coefficient d'absorption
- La propreté superficielle
- La résistance à la fragmentation (Essai Los Angeles ou fragmentation dynamique)
- La résistance à l'usure (Essai Micro-Deval)
- La résistance au polissage (Coefficient Polissage Accéléré)

Les résultats obtenus doivent être comparés aux valeurs recommandées par les normes (selon le type et

la classe d'enrobé). Dans le cas où les caractéristiques ne sont pas conformes, on doit changer les agrégats.

### I.4.2. Composition théorique d'un béton bitumineux

La détermination de la composition théorique d'un béton bitumineux comporte deux phases principales [A.BOUMADIANE; 2015] :

- Détermination de la courbe granulométrique du mélange minéral. On pourra, éventuellement, déterminer plusieurs mélanges possibles.
- Déterminer les teneurs en bitume possibles pour chacun des mélanges granulaires fixés.

#### a) Détermination du mélange minéral

A partir des courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies pour la réalisation de l'étude de formulation, on compose un mélange minéral dont la courbe (Figure.I.4) granulométrique est inscrite dans les limites du fuseau défini par les spécifications. Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination des courbes de mélanges. On examinera dans la suite l'une des méthodes les plus simples et rapides.

La méthode consiste à :

1. Tracer sur le même graphique les courbes granulométriques moyennes des classes granulaires choisies pour la composition du mélange granulaire, le fuseau granulométrique relatif au mélange minéral de l'enrobé étudié et la courbe médiane de ce fuseau.
2. Tracer la droite joignant le point correspondant à 5% de passants sur la courbe de la première gravette, au point correspondant à 95 % de passants sur la courbe de la deuxième gravette (ordre décroissant des D max).
3. Le point d'intersection de cette droite avec la courbe médiane du fuseau détermine le pourcentage pondéral de la première gravette dans le mélange minéral.

Les opérations 2 et 3 sont répétées pour l'obtention des proportions des autres classes granulaires.

A partir des courbes moyennes des classes granulaires, on calculera la courbe du mélange minéral (Figure I.3) le pourcentage de passants à un tamis pour la courbe de mélange est la somme des pourcentages de passants au même tamis des courbes des constituants pondérés par les proportions correspondantes [A.BOUMADIANE; 2015].

La courbe granulométrique du mélange minéral calculée devra ensuite être tracée dans un graphique et être comparée au fuseau de spécifications (Figure. I.3).



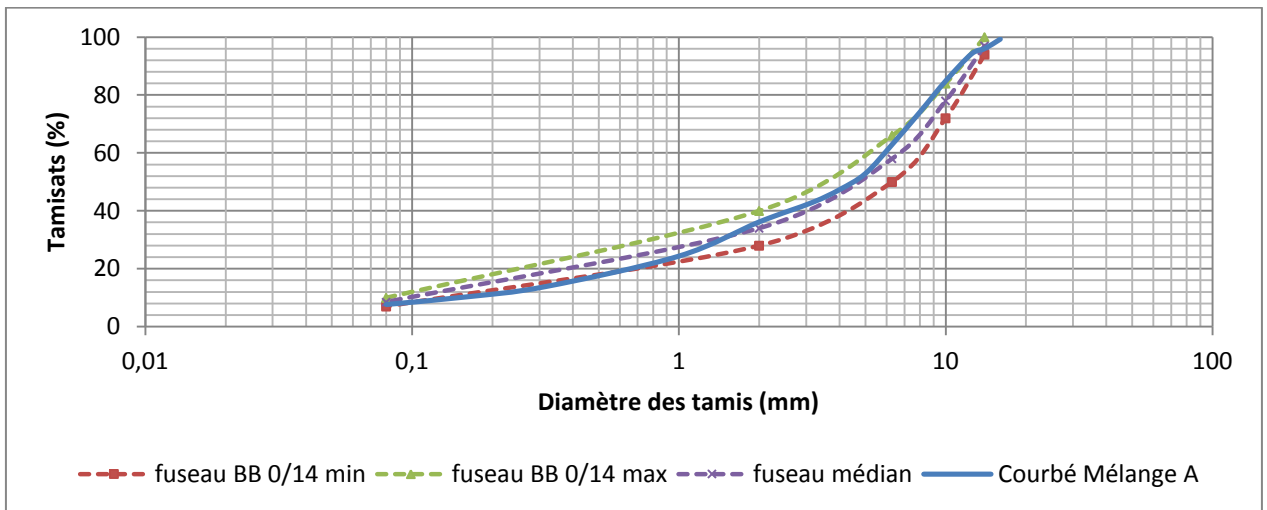


Figure I.4. Exemple d'une courbe de mélange inscrite dans le fuseau de référence.

La composition granulométrique du mélange devra être, selon le type d'enrobé, [J.L. DELORME et al; 2007], à l'intérieur des fourchettes données dans le tableau suivant :

Tableau I. 3. Valeur de fuseau d'un BBSG 0/10.

Tamis (mm)	Pourcentage des passants (%)	
	Min	Max
14	94	100
10	72	84
6.3	50	66
4	40	54
2	28	40
0,08	7	10

### b) Détermination du dosage en liant :

Les teneurs en bitume qui serviront pour la réalisation de l'étude de formulation seront fixées par le module de richesse (**K**) et la surface spécifique ( $\Sigma$ ) du mélange minéral retenu.

Le module de richesse (**K**) symbolise l'épaisseur du film de bitume qui enrobe les granulats. Il est cerné par les spécifications dans une fourchette de 3.30 à 3.90 pour les bétons bitumineux et 2.0 à 2.90 pour les graves bitumineux.

La surface spécifique caractérise la surface globale développée par les grains constitutifs du mélange minéral. Elle est calculée à partir de la courbe granulométrique par la relation [A. BOUMADIANE ; 2015] :

$$100 \cdot \Sigma = 0.25 G + 2.3 S + 12 s + 135 f$$

Exprimée en  $m^2/Kg$ , avec :

**G** : proportion des éléments  $> 6,3$  mm

**S** : proportion des éléments compris entre  $6,3$  et  $0,315$  mm

**s** : proportion des éléments compris entre  $0,315$  et  $0,08$  mm

**f** : proportion des éléments  $< 0,08$  mm

La relation liant la teneur en bitume de l'enrobé à la surface spécifique conventionnelle du mélange minéral est traduite par la formule suivante :

$$TL = K \cdot \alpha \cdot \sqrt[5]{\Sigma}$$

Avec :

**TL** : Teneur en Liant en % ;

**$\Sigma$**  : Surface spécifique conventionnelle ( $m^2/Kg$ )

**$\alpha$**  : coefficient correcteur tenant compte de la masse volumique des granulats :

Les teneurs en bitume qui serviront pour la réalisation de l'étude de formulation du béton bitumineux doivent être choisies de façon à ce que le module de richesse reste dans la fourchette spécifiée :

$$3.30 \leq K \leq 3.90$$

→ Pour les bétons bitumineux

$$2.0 \leq K \leq 2.90$$

→ Pour les graves bitumes

# CHAPITRE II

## Aperçu sur les matériaux en géosynthétiques

## CHAPITRE II : APERCU SUR LES MATERIAUX GEOSYNTHETIQUES

### II.1.Introduction

À partir des années soixante, les géosynthétiques sont utilisées beaucoup plus dans les infrastructures et les travaux en terre. Au début sont utilisés comme élément de drainage et comme couches de protection pour les voies ferrées, dans les opérations de filtrations et de séparation. Mais puis, ils sont développés pour protéger, renforcer et étanchéifier la fondation de la voie.

Les géosynthétiques permettent de proposer de variantes techniques intéressantes dans le domaine des travaux publics par leurs propriétés physicochimiques et leurs performances mécaniques associées à leur faible coût de production.

Le domaine routier est l'un des grands champs d'application des géosynthétiques.

L'usage de ces matériaux dans les ouvrages de construction routière constitue une perspective intéressante face à la pénurie de bons matériaux de construction et aux problèmes de leur exploitation et leur transport.

En effet, la réalisation de la couche de forme en présence de matériaux de faible capacité portante consiste souvent à un traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques (sols fins) ou l'apport de matériaux de bonne qualité (graves). Cependant, l'apport de bons matériaux a un coût économique élevé lié à sa rareté dans certaines régions du monde et à la nécessité de son transport (parfois de très loin, engendre un surcoût important). Ainsi, l'utilisation des géosynthétiques peut constituer une solution intéressante dans la construction de routes économiques [BOURABAH .M.A; 2010].

#### II.1.2. Définition des Géosynthétique

Le nom « Géosynthétique » désigne les nappes synthétiques utilisées en contact avec le sol. Mis en application depuis le début des années 70 dans le domaine du Génie Civil.

Les géosynthétiques comprennent une variété de matériaux en polymères synthétiques spécialement fabriqués pour une utilisation dans les domaines du Génie Civil et de la protection de l'environnement ainsi que dans les ouvrages hydrauliques et de transport [BOURABAH .M.A; 2010].

### II.2. Historique

Selon Beckham et Mills la première application d'un géotextile, un épais tissé en coton, dans la construction de routes a été réalisée en 1926 (Beckham et Mills, 1935) par le département de la recherche routière en Caroline du Sud. Jusqu'à la détérioration du tissé, la route était en bon état et l'utilisation du géotextile a considérablement réduit les fissures et les ruptures localisées de la

chaussée. Un géotextile de fibres synthétiques avec des fonctions de filtration et de protection contre l'érosion des côtes a été utilisé en 1950 en Floride. Cette application contre l'érosion s'est ensuite largement développée dans les années 1960. En Europe, les premières applications de matériaux géotextiles ont été réalisées au début des années 1960 dans la construction et la rénovation des grands remblais et des digues pour la protection des terres basses le long de la côte de la mer du Nord aux Pays-Bas, après les grandes inondations de l'hiver 1953. En Algérie, les géosynthétiques ont connu un développement considérable dans les domaines de la géotechnique et de génie civil ces trente dernières années. Actuellement, ils sont présents dans la plus part des ouvrages géotechniques et leurs domaines d'applications ne cessent de croître. Durant les quatre dernières années, de nombreux ouvrages géotechniques incluant des géosynthétiques ont été construits [CHAFI Samir; 2008].

### II.3. Les Fonctions principales des géosynthétiques :

Les différentes fonctions des géosynthétiques sont les suivantes :

**Tableau .II.1a : Fonctions principales des géosynthétiques**

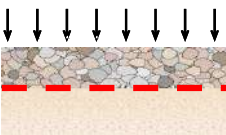
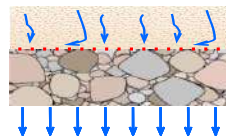
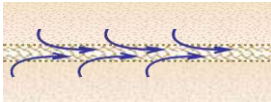
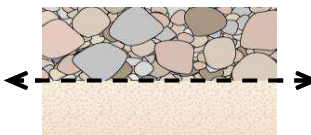

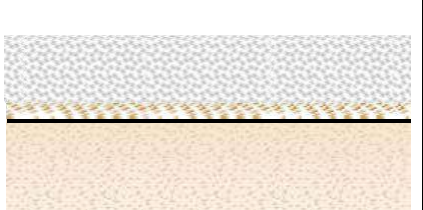
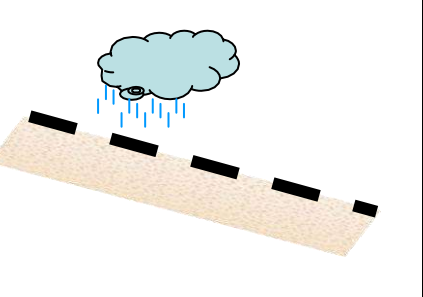
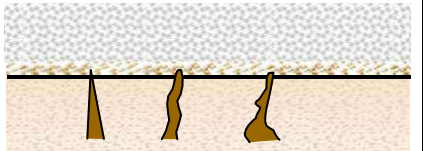
Fonctions	Descriptions	Illustrations
Séparation	Prévention du mélange de deux sols ou de matériaux de remblai adjacents de nature différente par l'emploi d'un géotextile.	
Filtration	Maintien du sol ou d'autres particules soumis(es) à des forces hydrodynamiques tout en permettant le passage de fluides à travers le géotextile.	
Drainage	collecte et transport de fluides (liquides, gaz) présent dans le sol dans le plan du géosynthétique.	
Renforcement	Utilisation du comportement en résistance-déformation d'un Géosynthétique afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques du sol ou d'autres matériaux de construction	
« Etanchéité »	minimisation des transferts de fluides (liquides, gaz).	

Tableau .II.1b : Fonctions principales des géosynthétiques

Protection	Prévention ou limitation des endommagements localisés d'un élément ou d'un matériau donné par l'emploi d'un géosynthétique	
Erosion de surface	Eviter ou limiter les mouvements du sol ou d'autres particules à la surface. (ex. pente de talus)	
Lutte contre les remontées de fissures	Empêche' et retarde les remontées des fissures	

## II.4. Les type les plus utilises

Les géosynthétiques les plus utilisés sont:

- Les géotextiles
- Les géogrilles
- Les géocomposites

### II.4.1. Geotextiles

Sont des produits tissés, non tissés, ou tricotés, perméables, fabriqués à base de polymères (polypropylènes, polyesters, polyéthylènes) et utilisés dans les domaines de la géotechnique et du génie civil. La fonction du géotextile dans le sol peut être la séparation, la filtration, et aussi le renforcement.

**Géotextiles non tissés** : la fabrication consiste au filage en continu des fibres, à leur étirement, avant de les napper et de les lier par aiguilletage ;

**Géotextiles tissés** : leurs bandelettes en polypropylène sont fabriquées par un procédé d'extrusion, elles sont ensuite tissées. [HAOUAM HOUDA; 2010].

### II.4.2. Geocomposite

Est un assemblage manufacturé de matériaux dont au moins l'un des composants est un produit géosynthétique, par exemple une géogrille complexée avec un géotextile non-tissé.

Il peut être utilisé, soit en géotechnique (fonctions de séparation et renforcement), soit pour les couches de roulement (fonction de renforcement, particulièrement en réfection) [HAOUAM HOUDA; 2010].

### II.4.3. Geogrille

Sont des géosynthétiques dont la fonction est le renforcement de la chaussée routière. Une géogrille est une structure plane à base de polymère, constituée par un réseau ouvert et régulier d'éléments résistants à la traction et pouvant être assemblés par extrusion, par collage ou par entrelacement, dont les ouvertures ont des dimensions supérieures à celles des constituants et permettant le confinement du sol.

La grandeur des mailles varie généralement de 1 et 10 cm pour permettre la pénétration des gros éléments du sol, et la création d'un effet d'imbrication de ces constituants dans la géogrille. Pour obtenir l'effet de renforcement il est nécessaire que les gros éléments s'imbriquent de la moitié de leur volume dans la maille. On distingue des géogrilles mono-axiales et bi-axiales:

**Mono-axiale:** la résistance à la traction est plus importante dans un sens (longitudinal ou transversal) que dans l'autre.

**Bi-axiale:** la résistance à la traction est sensiblement équivalente dans le sens longitudinal et transversal [HAOUAM HOUDA; 2010].

## II.5. Domaines d'emploi

Cette technique peut être appliquée dans tous les ouvrages :

- Routiers
- Aéroport
- Tunnel
- Chemin de fer

### II.5.1. Utilisation des géosynthétiques dans le domaine routier

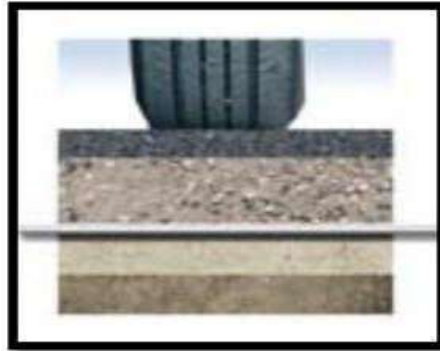
Les routes et autoroutes sont de la plus haute importance pour le développement d'un pays. Le trafic répète de véhicules lourdement chargés, les conditions climatiques et les propriétés

mécaniques des matériaux employés dans ces constructions peuvent entraîner une durabilité bien moindre des chaussées routières que ce qui était attendu.

## II.6. Exemples d'utilisation des géosynthétiques

### II.6.1. Voies permanentes

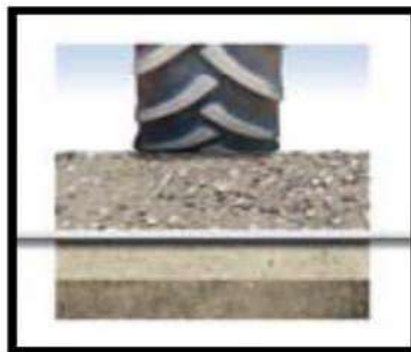
Les géosynthétique, en séparant les différentes couches de matériaux, stabilisent les chaussées qui sont conçues pour résister aux contraintes dynamiques et statiques.



**Figure. II.1.** Voies permanentes [Fibertex, CHAFI Samir; 2008].

### II.6.2. Voies temporaires

Placés sous le revêtement constitué de gravillons, augmentent la portance de la route et lui permettent ainsi de résister aux charges permanentes d'un trafic intense. Aucune voiture, aucun tracteur ni autres véhicules ne restent collés aux gravillons.

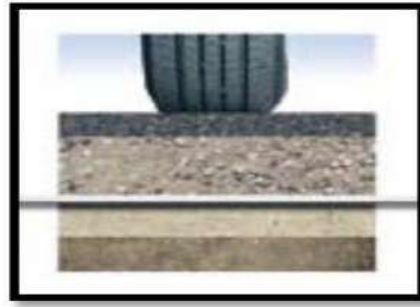


**Figure. II.2.** Voies temporaires [Fibertex, CHAFI Samir; 2008].

### II.6.3. Aires de parking

Les aires soumises à des charges statiques considérables exigent une couche de base stable, ce qui est assuré par les géosynthétique, qui, en séparant les différentes couches de matériaux, jouent un rôle essentiel pour maintenir la portance





**Figure. II.3.** Aires de parking [Fibertex, CHAFI Samir; 2008].

#### II.6.4. Elargissement de routes

Les géosynthétique assurent la séparation et la stabilité entre le sous-sol et les matériaux d'apport destinés à la construction de la route.



**Figure. II.4.** Elargissement de routes [Fibertex, CHAFI Samir; 2008].

#### II.6.5. Rénovation de l'asphalte

La nappe AM2 saturée de bitume, en empêchant l'eau de surface de pénétrer dans la couche de base, évite le lessivage des fines et réduit considérablement l'apparition de fissures et de crevasses.



**Figure. II.5.** Rénovation de l'asphalte [Fibertex, CHAFI Samir; 2008].

### II.6.6. Aéroports

Dans les ouvrages où la surface est soumise à de très fortes sollicitations, les géosynthétique stabilisent les fondations leur permettant ainsi de résister aux charges Dynamiques.



**Figure. II.6.** Aéroports [Fibertex, CHAFI Samir; 2008].

### II.6.7. Voies ferrées

La rapidité et le poids sans cesse croissants des trains soumettent la couche de base à des sollicitations extrêmement importantes.

Les géosynthétique stabilisent les fondations leur permettant ainsi de résister aux charges dynamiques.









**Figure. II.7.** Voies ferrées [Fibertex, CHAFI Samir; 2008].

## II.7. Les applications principales des géosynthétiques

Les applications principales des géosynthétiques sont résumées dans le tableau II.2. Signalons que la fonction séparation dans la pratique est presque toujours associée à la fonction filtration [Rabah ARAB; 2006].

**Tableau .II.2 : Fonctions/Applications des géosynthétiques**

Applications	Exemples
<b>Filtration</b>	
Routes et autoroutes Voie ferrée Barrages Tranchées drainantes Protection de rivages et de berges	
<b>Drainage</b>	
Drainage sous remblai Drainage sous dallage Drainage sous étanchéité Masques drainants Drainage en rive de chaussée	
<b>Renforcement</b>	
Remblai sur sols compressibles Talus et murs de soutènement Zones karstiques Lutte contre remonté de fissures	
<b>Lutte contre l'érosion</b>	
Protection des rivages et des cotes Protection des talus	
<b>Protection</b>	
Protection des organes d'étanchéité	
<b>Lutte contre les remontées de fissures</b>	
Chaussées routes et autoroutes Aérodomes	

## II.8. Principe des principaux essais

Les géosynthétique sont caractérisés par trois types d'essais principaux :

- Essais d'identifications
- Essais mécaniques
- Essais hydrauliques.

Les différents essais et leurs principes sont résumés dans les tableaux II.3 à II.5 [Rabah ARAB; 2006].

Tableau .II. 3 : Essais d'identifications



Paramètre mesuré	Principe de l'essai	Appareillage
MASSE SURFACIQUE [g/m <sup>2</sup> ] Norme NF EN 965	Découpe d'éprouvettes de dimension (200x200) mm  Pesée des éprouvettes	
EPAISSEUR SOUS DIFFERENTES CONTRAINTES [mm] Norme NF EN 964-1	Découpe d'éprouvettes de dimension 230 mm de diamètre  Installer les éprouvettes une à une sous le pied presseur  Appliquer successivement et par valeur croissante les pressions suivantes : 2, 20 et 200 kPa  Sous chaque contrainte, relever la valeur de l'épaisseur restée inchangée pendant au moins 30 s.  Changer d'éprouvette et reproduire les étapes ci-dessus.	

Tableau .II. 4 : Essais mécaniques






Paramètre mesuré	Principe de l'essai	Appareillage
<p style="text-align: center;">TRACTION [kN] ALLONGEMENT[%] Norme NF EN ISO 10319</p>	<p>Découpe d'éprouvettes de dimension (200 x 200)</p> <p>Mise en place de l'éprouvette entre les mâchoires (distance initiale entre mâchoires est 100±3 mm)</p> <p>Placer sur l'éprouvette 2 repères distants de 60 mm dans la partie centrale</p> <p>Vitesse de sollicitation est (20±5) mm/min</p>	
<p style="text-align: center;">POICONNEMENT STATIQUE [KN] CBR Norme NF EN ISO 12236</p>	<p>Découpe d'éprouvettes de dimension 230 mm de diamètre</p> <p>Mise en place de l'éprouvette entre les disques et serrage</p> <p>Vitesse d'enfoncement : (50±10) mm/min.</p>	
<p style="text-align: center;">CHUTE DE CÔNE [mm] Norme NF EN 918</p>	<p>Découpe d'éprouvettes de dimension 230 mm de diamètre</p> <p>Placer l'éprouvette à l'endroit prévu</p> <p>Poser le disque par-dessus et fixer par vis Lâcher le cône</p> <p>Hauteur de la chute : 500 mm.</p> <p>Mesurer le diamètre du trou à l'aide d'une « carotte »</p>	

Tableau .II. 5 : Essai de capacité de débit dans leur plan

Paramètre mesuré	Principe de l'essai	Appareillage
<p>CAPACITE DE DEBIT DANS LE PLAN [m<sup>3</sup>/s] Norme NF EN ISO 12958</p>	<p>Découpe de 3 éprouvettes de dimension (200 x 300) mm Laisser les éprouvettes baigner pendant 12 heures dans de l'eau. Essais sous les contraintes suivantes : 20 et 100 kPa sous gradient hydraulique égal à 1. Mesure du débit d'eau à l'aide de vélocimètres.</p>	
<p>OUVERTURE DE FILTRATION [μm] Norme NF EN ISO 12956</p>	<p>Découpe d'éprouvettes de dimension 130 mm de diamètre Peser les éprouvettes sèches Laisser les éprouvettes baigner pendant 12 heures dans de l'eau Déterminer la masse sèche du matériau granulaire puis l'étaler sur l'éprouvette Pulvériser de l'eau sur toute l'éprouvette après ouverture de l'alimentation Recueillir le matériau granulaire ayant traversé l'éprouvette après tamisage Recueillir l'éprouvette ainsi que le refus sur et dans l'éprouvette Déterminer la masse sèche du refus en pesant l'éprouvette contenant le matériau granulaire et en soustrayant la masse sèche de l'éprouvette.</p>	

# CHAPITRE III

Notion sur le essais de fatigue

## CHAPITRE III : NOTION SUR L'ESSAIS DE LA FATIGUE

### III.1.Introduction

Les enrobés bitumineux sont soumis, sur la chaussée, à des sollicitations de courtes durées et répétées dans le temps. Ils correspondent aux passages successifs des essieux des véhicules.

Un phénomène de traction par flexion se produit alors à la base des différentes couches de la chaussée (Figure.1). Les contraintes induites n'aboutissent pas à une rupture immédiate, mais leur répétition dans le temps est à l'origine d'une fissuration par fatigue.

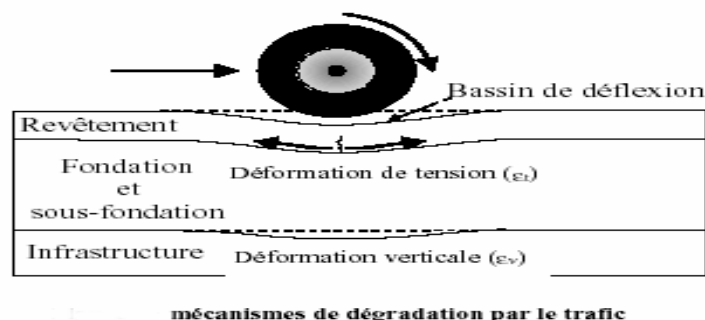
L'endommagement des enrobés bitumineux par fatigue a été étudié par de nombreux auteurs tels que [De La Roche en 1996; Ashayer Soltani en 1998; Baaj en 2002; Bodin en 2002]. [M.L. NGUYNE ; 2009].

### III.2. Fonctionnement de la chaussée

Le passage d'un véhicule engendre des contraintes de traction et de compression dans les différentes directions des couches de la chaussée. Chaque couche de la chaussée est assimilée à une poutre qui subit des flexions sous l'effet du trafic (Figure.1).

Les compressions répétées sous le passage de la charge peuvent induire des déformations permanentes qui, si elles sont importantes, se traduisent par un orniérage à la surface de la chaussée.

Les tractions répétées à la base des couches d'une chaussée, sous l'effet du passage des véhicules lourds, engendrent des "micro" dégradations qui s'accumulent et peuvent entraîner la ruine du matériau par fatigue. Alors, la direction de contrainte qui est principalement à l'origine des fissurations par fatigue, est celle qui se trouve parallèle à l'axe de roulement (ou l'axe de la chaussée).



**Figure.III.1.** Schématisation des sollicitations induites par le trafic.

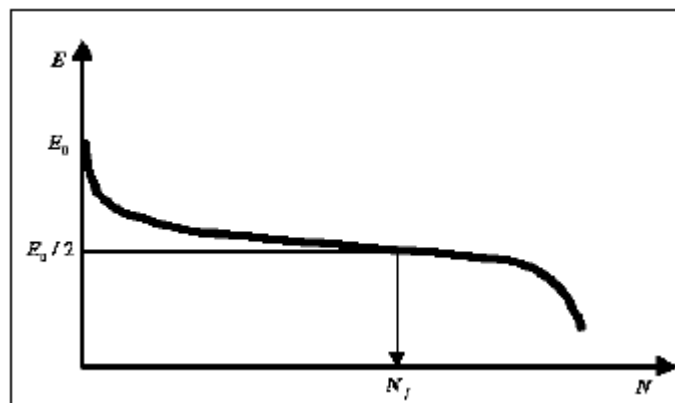
### III.3.Fatigue des bétons bitumineux

#### III.3.1. Définitions et critère d'évaluation



Le phénomène de fatigue d'un matériau se caractérise par sa rupture après application répétée d'un grand nombre de sollicitations (en pratique supérieur à  $10^4$ ) dont l'amplitude est inférieure à la résistance à la rupture instantanée du matériau.

Par définition, une éprouvette est dite fatiguée lorsque son module atteint la moitié de sa valeur initiale mesurée au premier cycle de chargement dans les mêmes conditions d'essai (même température et même fréquence). La durée de vie  $N_f$  d'une éprouvette est donc le nombre de cycles correspondant à un module de rigidité égal à la moitié du module initial de cette même éprouvette (figure 1).



**Figure.III.2.**Définition du critère classique de fatigue et détermination de la durée de vie  $N_f$

Ce critère classique est l'un des critères de fatigue les plus répandus. La durée de vie  $N_f$  déterminée à partir de ce critère est utilisée pour le dimensionnement de chaussées.

### III.3.2. Prise en compte du phénomène de fatigue dans les chaussées

La structure d'une chaussée est choisie en fonction de multiples critères, à la fois techniques, géographiques et économiques. Son dimensionnement (c'est-à-dire la détermination des épaisseurs de matériaux à mettre en œuvre) est fonction :

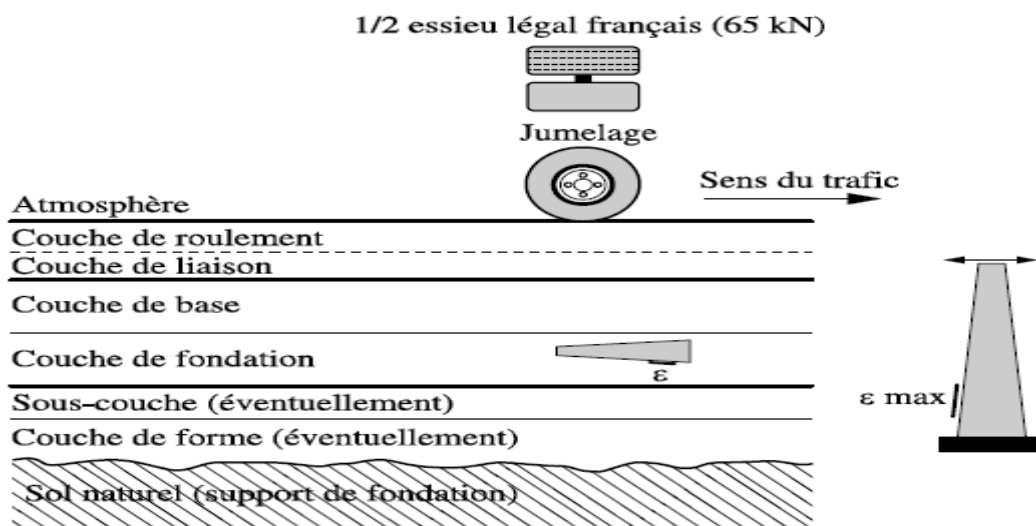
- De la nature du sol support ;
- De la nature et de la qualité des matériaux
- Du trafic de véhicules lourds à la mise en service et de son évolution prévisible, permettant de déterminer le trafic cumulé que devra supporter la chaussée.

On peut considérer la chaussée comme un massif multicouche. Dans la méthode française de dimensionnement, elle est modélisée sous la forme d'une superposition de couches élastiques, linéaires, homogènes, isotropes, infinies en plan. Chaque couche est caractérisée par un module d'élasticité  $E$ , un coefficient de Poisson, et son épaisseur. Après modélisation de la charge appliquée,

les calculs des déformations et contraintes dans ce modèle multicouches sont effectués à l'aide du modèle de Burmister [LCPC et SETRA 1994].

L'origine des essais de fatigue sur enrobés se trouve dans la comparaison des valeurs de déformations en traction par flexion, calculées à la base des couches d'enrobé, avec les valeurs de déformations maximales supportées par une éprouvette d'enrobé en laboratoire lors d'un essai de fatigue (Figure.4).

En Alger, l'essai de fatigue s'effectue sur une éprouvette de forme trapézoïdale qui est testée en flexion deux points. La déformation considérée est la déformation maximale subie par la fibre extrême de l'éprouvette lors d'une sollicitation sinusoïdale à amplitude de flèche constante. Cette déformation est calculée à partir de la flèche en tête en supposant le matériau linéaire et homogène.



**Figure III.3.** Principe de la modélisation d'une chaussée : logique des essais de fatigue sur enrobés ([DiBenedetto et Corté 2005 ; M.L. NGUYEN ; 2009])

L'essai de fatigue en laboratoire permet de déterminer la déformation  $\varepsilon_6$  conduisant à la rupture d'une éprouvette par fatigue sous certaines conditions d'essai (fréquence, température) pour  $10^6$  chargements.

Une déformation admissible  $\varepsilon$  admissible est calculée à partir de cette valeur  $\varepsilon_6$ . Elle tient compte du décalage existant entre les conditions d'essais de laboratoire et la réalité (chargement, température ...) à travers un certain nombre de coefficients correctifs. Cette valeur  $\varepsilon$  admissible est ensuite comparée aux valeurs calculées à l'aide de la modélisation.

Le dimensionnement des couches bitumineuses est considéré comme correct lorsque l'équation III.1 est satisfaite dans chaque couche, sinon, il faut augmenter les épaisseurs ou reconsidérer les matériaux choisis.

$$\epsilon_{calculée} < \epsilon_{admissible} \dots\dots\dots \text{Equation III.1}$$

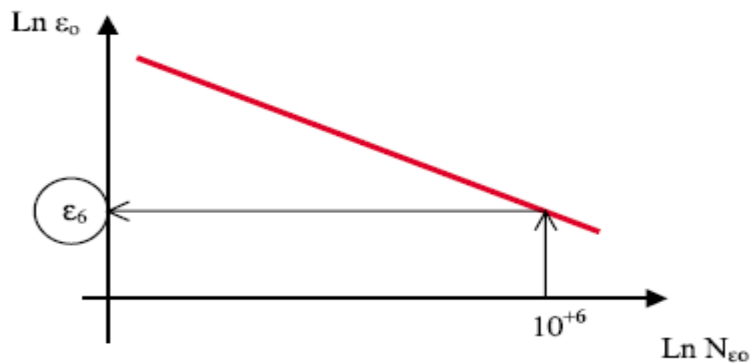
**III.4.Présentation graphique des durées de vie**

Dans la littérature, les durées de vie sont généralement présentées en utilisant la courbe de **WÖHLER** en échelle logarithmique. Dans cette présentation, le logarithme des valeurs des durées de vie est présenté en fonction du logarithme de la déformation initiale ou de la contrainte initiale.

**III.4.1.Courbe de fatigue ou courbe de Wöhler**

L'essai classique, permettant de caractériser le phénomène de fatigue consiste à soumettre une éprouvette de matériau à des sollicitations répétées et à noter le nombre de cycles entraînant la rupture de l'éprouvette, appelé « durée de vie »

La représentation classique des résultats de l'essai de fatigue est la courbe de fatigue ou courbe de Wöhler (Figure III.4). Cette courbe fait correspondre une durée de vie à la sollicitation exercée, qui peut être une contrainte ou une déformation imposée. [M.L. NGUYNE ; 2009].



**Figure III.4.** Courbe de Wöhler.

Cette courbe est habituellement caractérisée par l'une ou l'autre des relations suivantes :

$S = a.N^{-b}$  : la courbe est alors une droite en coordonnées logarithmique

Ou

$S = \alpha - \beta.log(N)$  : la courbe est alors une droite en repère semi-logarithmique.

Avec :

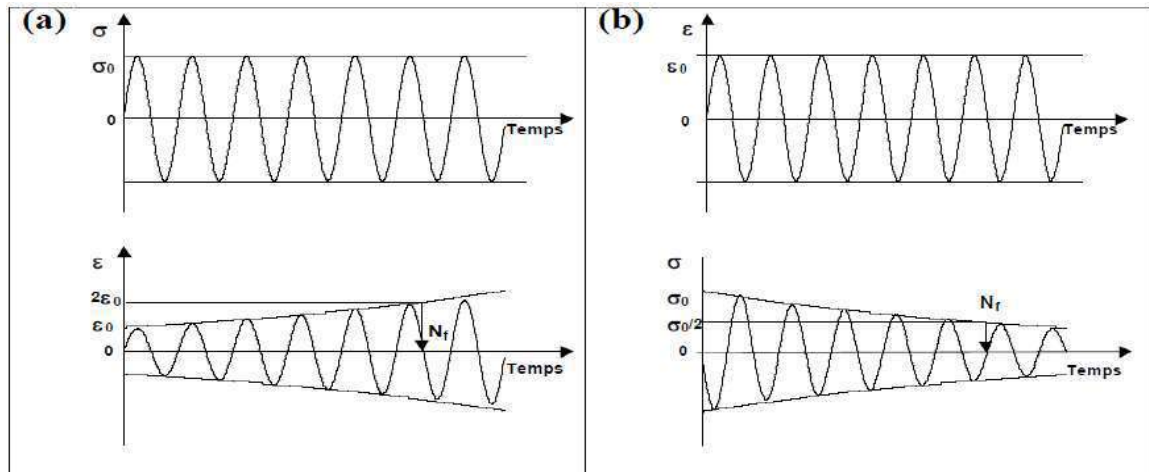
S : la sollicitation imposée (contrainte ou déformation imposée) ;

N : la durée de vie correspondante ;

a, b ( $\alpha, \beta$ ) : les constantes de la relation.

Dans les essais en mode de déformation, l'amplitude de la déformation est maintenue constante durant l'essai et c'est l'amplitude de la contrainte qui diminue constamment et jusqu'à la rupture. En

revanche, dans les essais conduits en mode de contrainte, l'amplitude de contrainte est maintenue constante et c'est la déformation qui augmente pendant l'essai et jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La figure III.5 présente la forme des signaux d'entrée ainsi que la réponse du matériau à la sollicitation.



**Figure.III.5.** Signaux d'entrée et réponses dans les deux modes de sollicitation.

a) sollicitation en contrainte et réponse du matériau en déformation.

b) Sollicitation en déformation et réponse du matériau en contrainte.

### III.5. Essais de laboratoire caractérisant la fatigue des enrobés bitumineux

Les essais de fatigue réalisés en laboratoire tentent de simuler le comportement des matériaux bitumineux sous charges réelles (trafic, chargements thermiques). Ces essais de fatigue consistent à appliquer un chargement cyclique sur des éprouvettes issues de matériau prélevé in-situ ou reconstitué en laboratoire. En pratique, on peut utiliser pour les essais de fatigue en laboratoire toutes les configurations d'essais utilisées pour la mesure du module complexe.

Généralement, le chargement appliqué est sinusoïdal correspondant à un déplacement (ou de déformations dans le cas d'essais homogènes) ou une force (ou de contraintes dans le cas d'essais homogènes) d'amplitude constante.

En ce qui concerne les températures d'essais, en France, elles sont classiquement égales à 10° C qui est la température moyenne observée dans les structures de chaussées.

Dans la réalité, les essais de fatigue donnent des résultats dispersés en raison des hétérogénéités des matériaux et du phénomène de fatigue lui-même. Aujourd'hui, la durée de vie d'un matériau bitumineux peut varier de 1 à 10. Il faut donc réaliser un grand nombre d'essai pour obtenir finalement une bonne évaluation du phénomène à la fatigue pour un même matériau.

L'essai de fatigue peut être réalisé suivant deux modes de sollicitations distincts :

- sollicitation à déplacement imposé : le signal de sollicitation appliquée à l'éprouvette est un signal de déplacement avec une amplitude constante et une fréquence constante. La force nécessaire pour créer ce déplacement évolue au cours de l'essai. Si le champ de déformation de l'éprouvette est homogène, la sollicitation est alors à "déformation imposée" (la déformation est identique en chaque point de l'éprouvette).

- sollicitation à force imposée : l'essai est piloté en force et ce sont l'amplitude et la fréquence de ce signal qui restent constantes pendant l'essai. Pour ces essais, c'est le déplacement qui varie. Si, sous l'application de la force, le champ de contrainte dans l'éprouvette est homogène, alors la sollicitation est à « contrainte imposée » (la contrainte est identique en chaque point de l'éprouvette).

### III.6.Mécanisme de la fatigue :

Dans un essai de fatigue, quelle que soit la sollicitation imposée, on distingue trois phases dans l'évolution du module en fonction du temps ou de nombre de cycles (Figure 8).

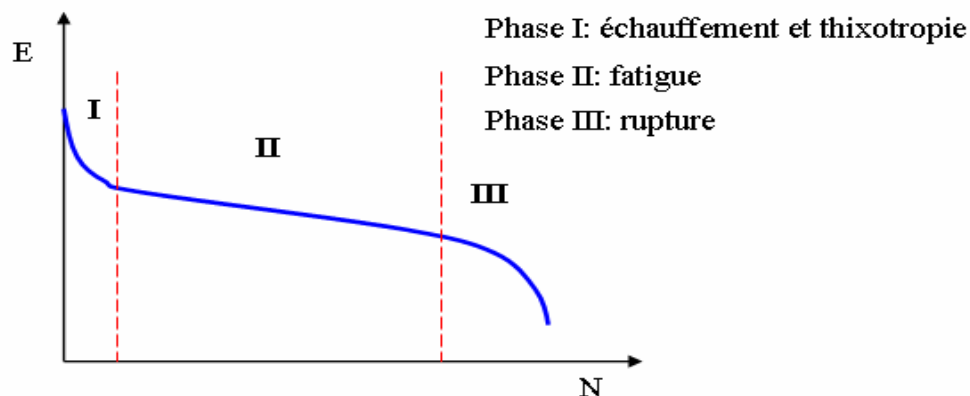


Figure .III.6. Distinction de trois phases différentes dans un essai de fatigue

Dans un essai de fatigue, quelle que soit la sollicitation imposée, on distingue trois phases dans l'évolution du module en fonction du temps ou de nombre de cycles [De La Roche 1996; Di Benedetto et al. 2004].

- La première phase (phase d'adaptation) est marquée par une chute rapide du module à vitesse décroissante au début de l'essai. Cette décroissance n'est pas considérée exclusivement comme de la fatigue. L'échauffement du matériau et la thixotropie jouent des rôles importants. La perte de module liée à ces phénomènes « parasites » est quasiment réversible lorsque l'essai de fatigue est arrêté [Di Benedetto et al. 2004].

- La deuxième phase est caractérisée par une décroissance du module plus modérée et quasi linéaire. Le rôle de la fatigue sur la chute de module est alors prédominant. Bien que l'influence des

phénomènes biaisant (échauffement et thixotropie) soit faible pendant cette phase, ils doivent être considérés.

- Lors de la troisième phase, la valeur du module subit de nouveau une chute rapide. Elle correspond à l'apparition de macro-fissures localisées par accumulation des microfissures lors des phases 1 et 2.

### III.7. Essais de traction

#### III.7.1. Essai de traction - compression sur éprouvette cylindrique

C'est le même essai utilisé pour la mesure du module complexe en augmentant le nombre de cycles de sollicitation appliquée (jusqu'à plusieurs milliers de cycles).

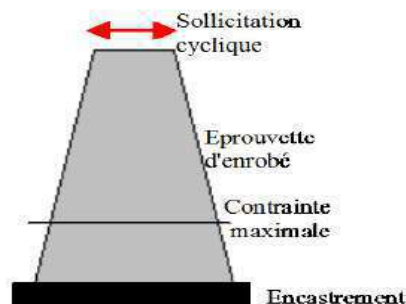
L'avantage de cet essai est qu'il peut être réalisé en contrôle de déformation ou de contrainte, ce qui est rarement le cas des autres essais de fatigue. Le module de rigidité, le coefficient de Poisson et d'autres caractéristiques mécaniques peuvent être tirées de l'expérience.

### III.8. Essais de flexion

#### III.8.1. Flexion 2 points

C'est l'essai de fatigue développé au **LCPC** depuis 1965. L'étude de l'influence des paramètres de l'essai comme la température et le mode de sollicitation (force ou déplacement) a été faite par **DOAN** (1970). L'essai est répandu en Europe et normalisé en France. Ses résultats sont utilisés dans la méthode française pour le dimensionnement des chaussées.

L'éprouvette trapézoïdale est encastrée à sa grande base et sollicitée à son sommet (figure 7). Les sollicitations peuvent être en force ou en déplacement imposé. L'intérêt d'une éprouvette trapézoïdale est d'éloigner la section la plus sollicitée de l'encastrement et du point d'application de la charge. Ainsi, on peut éviter les effets parasites de bord et de concentration de contraintes sous le point d'application de la charge dans l'apparition des fissures. La nouvelle machine utilisée au LTPS exerce 4 essais simultanés.



**Figure .III.7.** Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 2 points.



Figure .III.8. Appareil de l'essai de flexion 2 points.

### III.8.2. Flexion 3 points

L'éprouvette est une poutre qui se repose sur deux appuis simples (figure 10). La sollicitation est appliquée au centre de la poutre en mode de contrainte ou de déformation imposée. Le moment de flexion est nul au droit des appuis et varie linéairement pour atteindre sa valeur maximale au centre de l'éprouvette. Le plan de rupture est généralement localisé sur ce même point ou très proche de celui-ci.

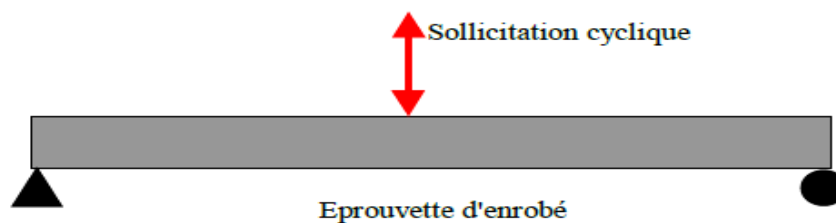
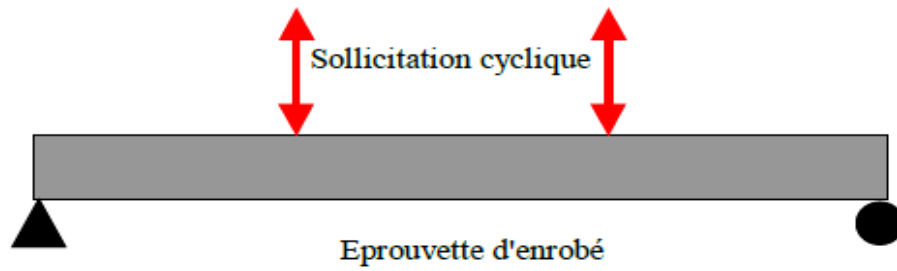


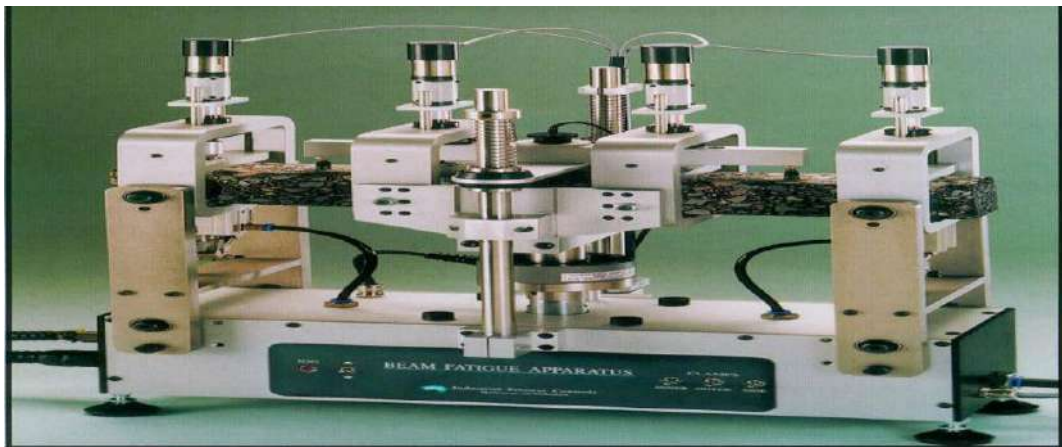
Figure .III.9. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 3 points.

### III.8.3. Flexion 4 points

Cet essai est largement utilisé aux Etats Unis. Il a été choisi suite au programme **SHRP** pour l'étude de la fatigue des enrobés bitumineux. Cet essai a été conçu pour éviter la concentration des dommages au centre de la poutre observée lors de l'essai de flexion trois points. La sollicitation est exercée sur deux points symétriques, partageant l'éprouvette en trois travées (figure 11). En absence d'effort tranchant entre ces deux points, on peut profiter d'une zone assez longue sous moment uniforme.



**Figure .III.10.** Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 4 points.



**Figure .III.11.** Appareil de l'essai de flexion quatre points (DWW – Pays Bas)



# CHAPITRE IV

## Caractérisation des matériaux utilisés

## CHAPITRE IV CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

### IV.1.Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les matériaux utilisés dans le cadre de cette étude, et de déterminer leurs caractéristiques physico-mécaniques et chimiques pour formuler les bétons bitumineux.

Donc dans ce chapitre, nous allons exposer les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition de l'enrobé, à savoir :

- Sable de classe 0/3 de la région Ghardaïa (SARL ALCOGAZ).
- Gravier de classe 3/8 de région Ghardaïa (SARL ALCOGAZ).
- Gravier de classe 8/15 de la région Ghardaïa (SARL ALCOGAZ).
- Liant bitumine pur eux l'entreprise NAFTAL de Ghardaïa.

### IV.2 Liant hydrocarboné

Le liant hydrocarboné utilisé dans cette étude provient de l'unité de l'entreprise NAFTAL de Ghardaïa. On a procédé à la détermination de la classe du liant à partir des essais de caractérisation. Il s'agit des essais de pénétrabilité à l'aiguille à 25°C (NF EN 1426) et d'essai de ramollissement (bille et anneau) (NF EN 1427) et densité relative (NA 5224).

Ces essais ont été réalisés au niveau du Laboratoire des produits bitumineux de LTP.Sud Ghardaïa. Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau suivant.

**Tableau .IV.1.** Caractérisation du liant

Essai	Résultats	Spécification
<b>Pénétrabilité à 25°C</b>	43	40 à 50
<b>Point de ramollissement</b>	54	47 à 60
<b>Densité relative à 25°C</b>	1.041	1.0 à 1.10

À partir des essais de caractérisation effectués on peut dire que notre liant correspond à un bitume pur de classe 35/50.

### IV.3.Gravier

Les échantillons des trois classes de gravier 0/3, 3/8 et 8/15 sont ramenées de la station de concassage de l'entreprise ALCOGAZ située à la zone d'activité de Metlili W Ghardaïa, ont été soumis aux essais et analyses au laboratoire pour déterminer leurs caractéristiques physiques et mécaniques.

#### a) Masses Volumiques absolues

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Les résultats résumés dans le tableau ci après

**Tableau. IV.2.** Résultat d'essai masses volumiques absolues de graviers.

Classe des graviers (d/D)	3/8	8/15
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.664	2.664

#### b) Essai Micro Deval en présence d'eau / MDE (NF P 18 – 572)

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

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

**Tableau. IV.3.** Résultat d'essai Micro-Deval.

Classe des graviers (d/D)	3/8	8/15	Spécification
MDE(%)	18	20	≤ 20 %

#### c) Essai de Los Angeles (NF P 18 – 573)

L'essai Los Angeles est destiné à évaluer la résistance des granulats à la fragmentation et aux chocs. Pour tester la dureté d'un matériau, on le soumet à une épreuve de chocs dans un tambour. Les essais sont effectués sur la classe de référence 10 / 14 et les valeurs sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau. IV.4: Résultat d'essai Los Angeles.

Classe des graviers (d/D)	8/14	Spécification
LA(%)	27.5	$\leq 20 \%$

Les résultats d'essai Los Angeles sont au-dessus aux spécifications.

**d) Essai d'Aplatissement (NF 18 – 561)**

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

Tableau. IV.5: Résultats d'aplatissement des graviers.

Classe des graviers	3/8	8/15	Spécifications
Essai d'aplatissement	19	18	$\leq 20 \%$

Pour l'essai de propreté les résultats sont conformes.

**e) Essai de propreté**

Tableau. IV.6: Résultats de propreté des graviers.

Classe des graviers	3/8	8/15	Spécification
propreté (%)	1.08	0.46	$\leq 2 \%$

Pour l'essai de propreté les résultats sont conformes.

## IV .4.Sable

**a) Analyse granulométrique [NF P 18-560]**

Présentation les résultats par une courbe granulométrique de sable 0/3 :

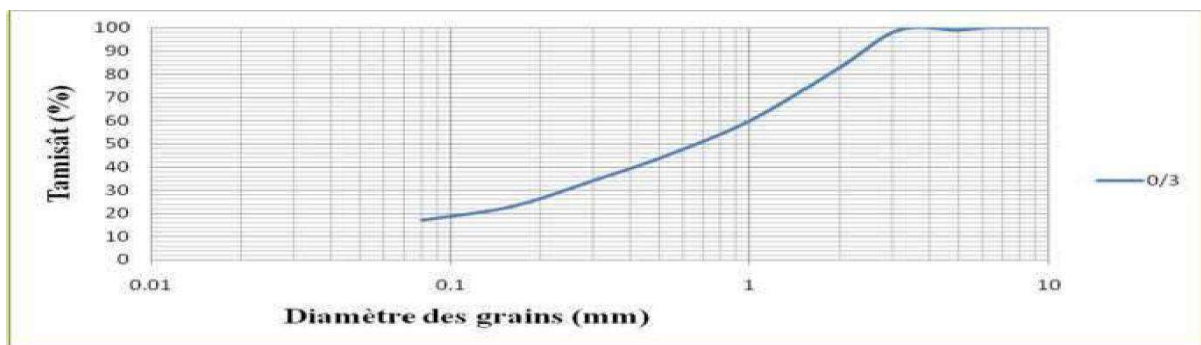


Figure. IV.1: Le courbe granulométrique de sable.

### b) Masses Volumiques absolues

Résultats de sable 0/3 dans le tableau suivant :

**Tableau. IV.7:** Résultat d'essai masses volumiques absolues de sable 0/3.

Classe des Sable (d/D)	0/3
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.711

### c) Essai D'équivalent De Sable à 10% De Fines (NF P 18 – 597)

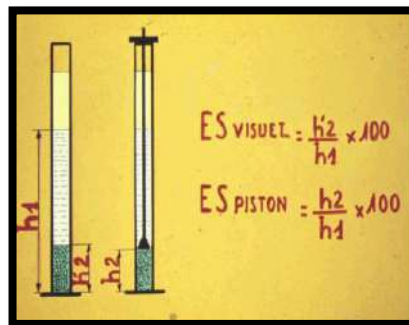
Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable effectué sur une fraction 0/5 mm du matériau à étudier.

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

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

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

$$ES = 100. H2 / H1$$



**Figure. IV.2:** Principe d'essai d'équivalent de sable.

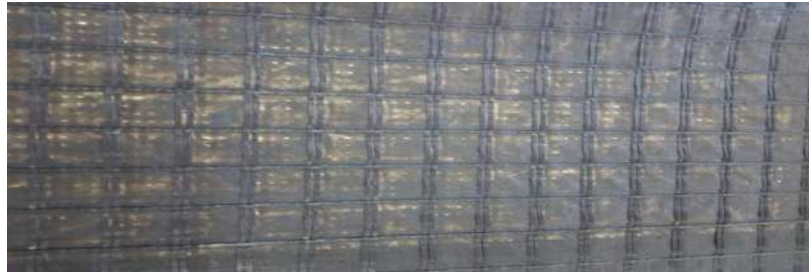
Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.8:** Résultats d'équivalent de sable.

sable	0/3	Spécification
ES (%)	70	ES ≥ 45%

## IV .5. Les géosynthétiques

Au cours de notre étude, en géosynthétiques fourni avec une fiche technique deux échantillons de géorgille **HATELIT C40/17**, testé par des essais de tension et détermination de la masse surfacique, Les expériences ont été effectuées au niveau du laboratoire détective CTTP et nous avons obtenu les résultats présentés dans les tableaux (IV.9 , à IV.16) .



**Figure. IV.3:** Type de géogridde HATELIT C40/17 utilise dans le renforcement.

## IV .6. Essais réalisés

Les essais réalisés sont comme suit :

- Essai de traction des bandes larges (ISO-10319 -01 /06/2008) .
- Essai de détermination de la masse surfacique (ISO – 9864 -15/02/2005).

### IV .6.1. Résultats des essais

#### IV.6.1.1. Essai de traction des bandes larges (ISO-10319 -01 /06/2008)

Condition d'essais :

Matériel utilisé : banc de traction INSTRON 5900.

Type de mors utilisé : mors en caoutchouc.

Type d'extensomètre : Extensomètre vidéo INSTRON AVE.

Dimensions entre les mors : 10 cm.

Vitesse de déformation : 20 % / min.

**Les résultats obtenus sont comme suit :**

## a) Sens production

Etat de l'éprouvette : sec

Longueur : 400 mm

Largeur : 200 mm

Température relevée : 19.1° C

Humidité relevée : 50%

Tableau IV.9 : les force et charge applique sur les Echantillons 01. [CTTP]

	Force Max / largeur (KN/m)	Maximum charge ( KN)
1	> 50.11	> 10.44
2	> 52.22	> 10.88
3	> 48.93	> 10.19
4	> 49.62	> 10.34
5	> 50.60	> 10.54
Moyenne	> 50.29	> 10.48
Coefficient de variation	2.47	2.47
Ecart – type	1.24	0.26

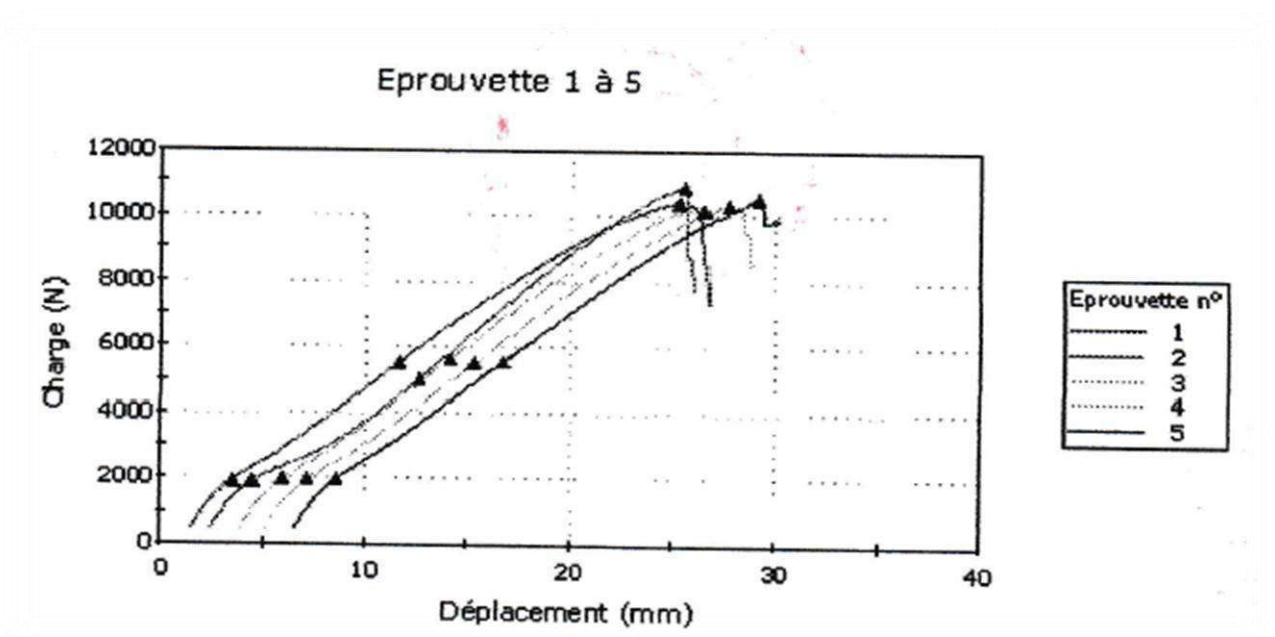


Figure. IV.4. Résultats de traction des bandes larges Echantillons 01. [CTTP]

Tableau IV.10 : les force et charge applique sur les Echantillons 02. [CTTP]

	Force Max / largeur (KN/m)	Maximum charge ( KN)
1	> 50.24	> 10.47
2	> 49.98	> 10.41
3	> 49.54	> 10.32
4	> 50.74	> 10.57
5	> 50.64	> 10.55
Moyenne	> 50.23	> 10.46
Coefficient de variation	0.98	0.98
Ecart – type	0.49	0.10

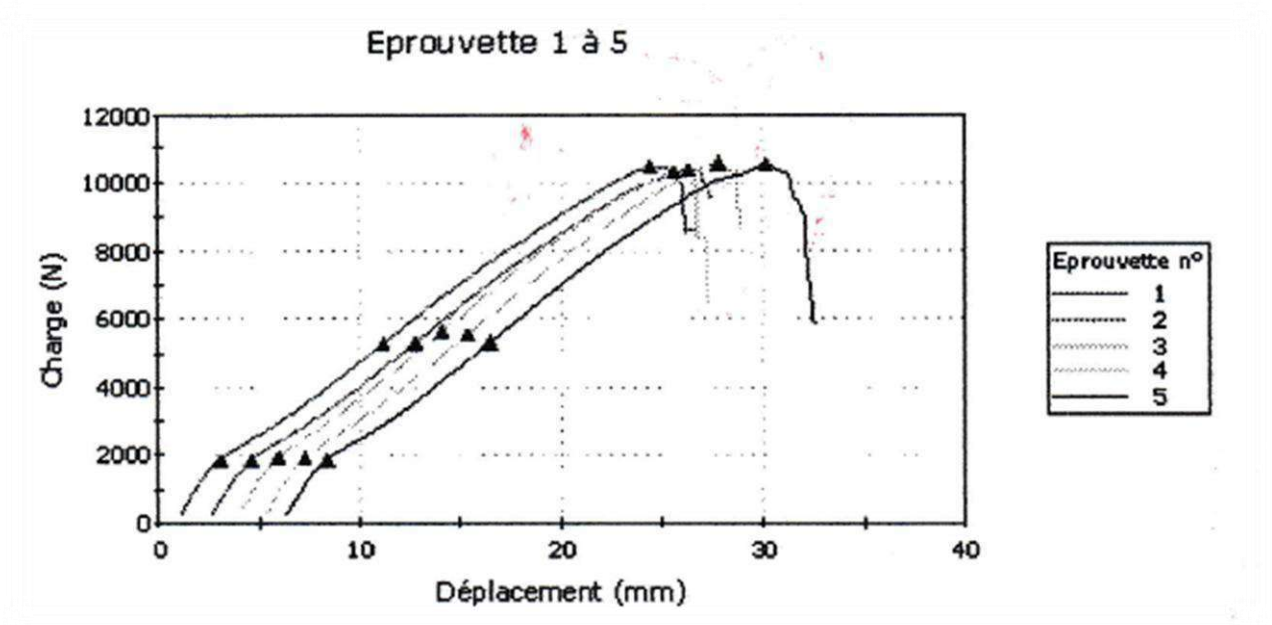


Figure. IV.5. Résultats de traction des bandes larges Echantillons 02. [CTTP]

### b) Sens Largeur

Etat de l'éprouvette : sec

Longueur : 200 mm

Largeur : 200 mm

Température relevée : 19.1° C

Humidité relevée : 51%



Tableau IV.11 : les force et charge applique sur les Echantillons 01. [CTTP]

	Force Max / largeur (KN/m)	Maximum charge ( KN)
1	> 60.99	> 10.44
2	> 59.42	> 10.88
3	> 59.53	> 10.19
4	> 60.54	> 10.34
5	> 60.78	> 10.54
Moyenne	> 60.23	> 10.48
Coefficient de variation	1.17	1.17
Ecart – type	0.70	0.14

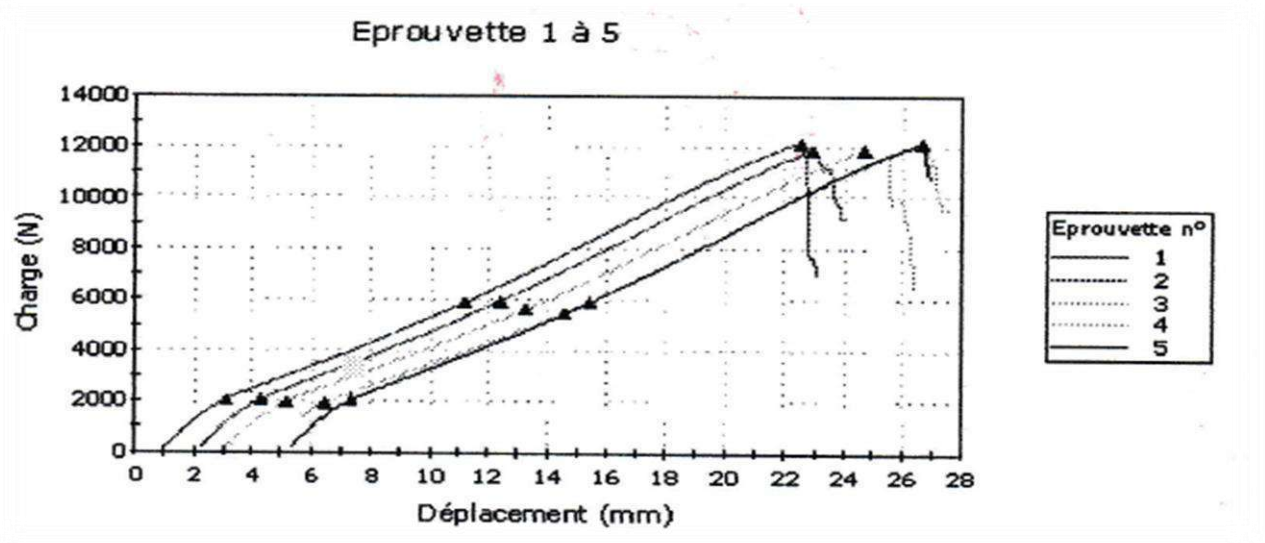


Figure. IV.6. Résultats de traction des bandes larges Echantillons 01. [CTTP]

Tableau IV.12 : les force et charge applique sur les Echantillons 02. [CTTP]

	Force Max / largeur (KN/m)	Maximum charge ( KN)
1	> 59.58	> 11.92
2	> 60.90	> 12.18
3	> 59.54	> 11.91
4	> 60.08	> 12.02
5	> 60.28	> 12.06
Moyenne	> 60.08	> 12.02
Coefficient de variation	0.93	0.93
Ecart – type	0.70	0.14

Eprouvette 1 à 5

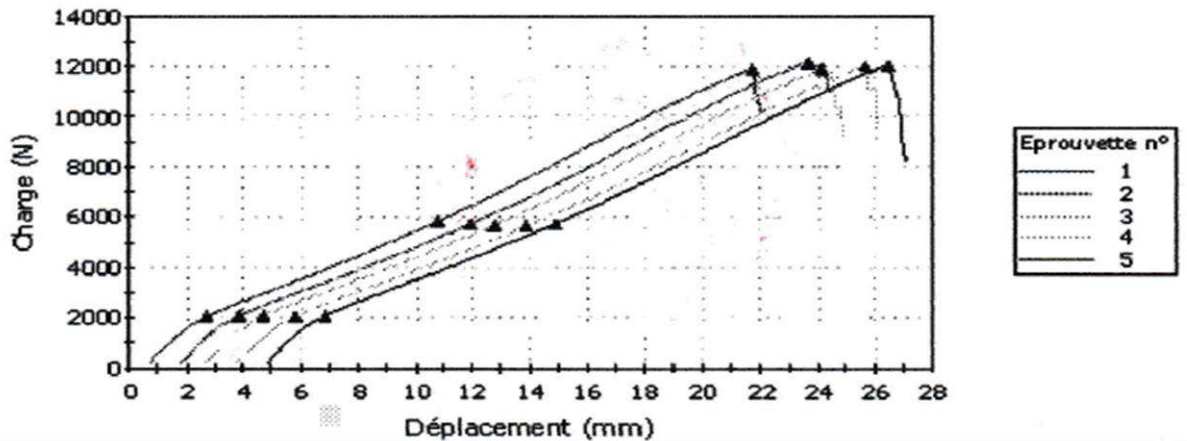


Figure. IV.7. Résultats de traction des bandes larges Echantillons 01. [CTTP]

#### IV.6.1.2. Essai de détermination de la masse surfacique (ISO - 9864 -15/02/2005)

Les résultats obtenus sont comme suit :

Température relevée : 19.1° C

Humidité relevée : 49%

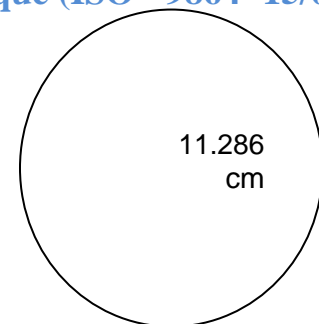


Tableau IV.13: détermination de la masse surfacique sur les Echantillon 01. [CTTP]

Eprouvette	Dimensions (cm <sup>2</sup> )	Poids (g)	Masse surfacique (g /m <sup>2</sup> )
1	100	2.61	261
2	100	2.36	236
3	100	2.60	260
4	100	2.60	260
5	100	2.57	257
6	100	2.57	257
7	100	2.60	260
8	100	2.58	258
9	100	2.56	256
10	100	2.34	234
Moyenne (g /m <sup>2</sup> )			253.9
Ecart-type			101.10
Cefficient de variation			3.98

**Tableau IV.14: détermination de la masse surfacique sur les Echantillon 02. [CTTP]**

Eprouvette	Dimensions (cm <sup>2</sup> )	Poids (g)	Masse surfacique (g /m <sup>2</sup> )	
1	100	3.06	306	
2	100	2.56	256	
3	100	2.62	262	
4	100	2.36	236	
5	100	2.61	261	
6	100	2.60	260	
7	100	2.60	260	
8	100	2.60	260	
9	100	2.59	259	
10	100	2.59	259	
			Moyenne (g /m <sup>2</sup> )	261.9
			Ecart-type	17.25
			Coefficient de variation	6.59

#### IV.7. Synthèse des résultats des essais (valeurs moyennes des caractéristiques principales).

Le tableau suivant récapitule les résultats des essais obtenus ainsi

**Tableau IV.15: les résultats des essais obtenus Echantillons 01.[CTTP]**

Caractéristiques	Norme d'essai	Unités	Géogrille HATELIT C40/17	Réf Résultats ( fiche technique )
Résistance à la traction (sens longitudinale)	ISO-10319	kN/m	50.29	50
Résistance à la traction ( sens largeur )		kN /m	60.23	50
Masse surfacique	ISO-9864	g/m <sup>2</sup>	253.9	270

**Tableau IV.16: les résultats des essais obtenus Echantillons 02.[CTTP]**

Caractéristiques	Norme d'essai	Unités	Géogrille HATELITC40/17	Réf Résultats (fiche technique)
Résistance à la traction (sens longitudinale)	ISO-10319	kN/m	50.23	50
Résistance à la traction (sens largeur)		kN /m	60.08	50
Masse surfacique	ISO-9864	g/m <sup>2</sup>	261.9	270

Les résultats d'essais de traction obtenus au laboratoire conformément à la norme NF EN 10319 même résultats de l'essai masse sur surfacique obtenus au laboratoire conformément à la norme ISO-9864.

# CHAPITRE V

**Etude de formulation et analyse  
des résultats**

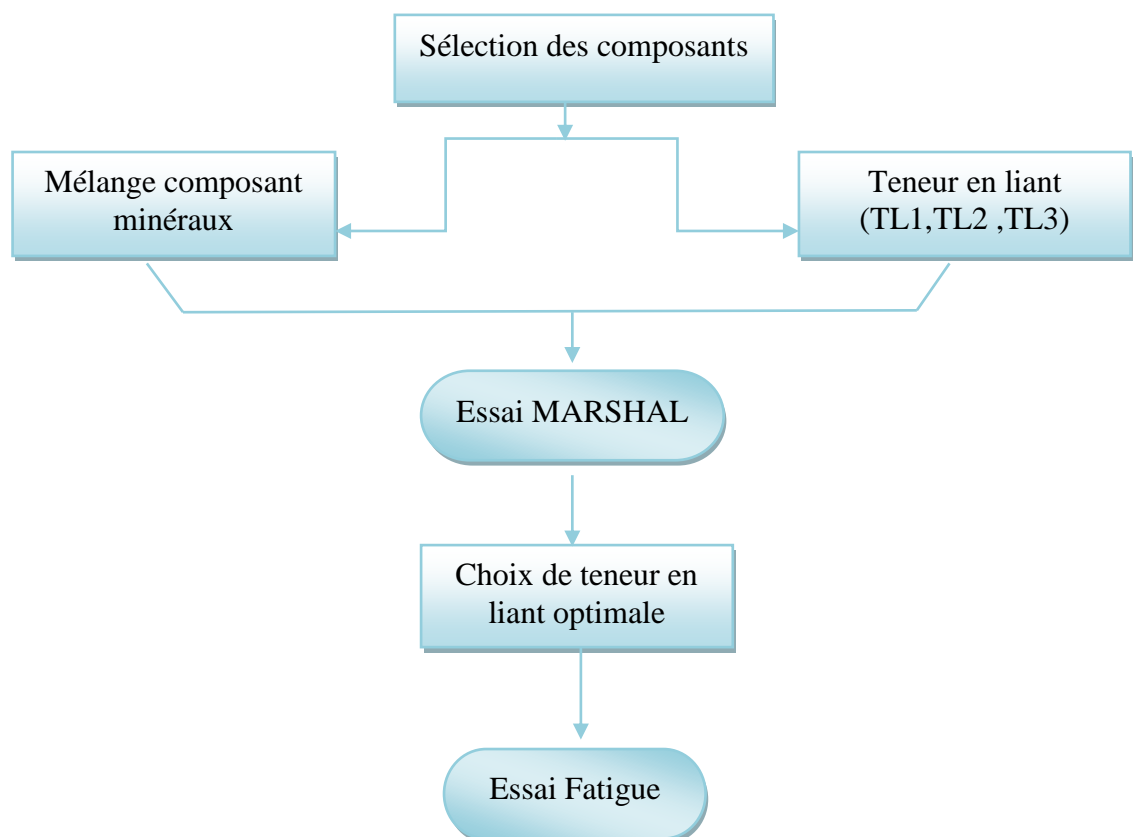
## CHAPITRE V: ETUDE DE FORMULATION ET ANALYSE DES RESULTAS

### V.1.Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter l'étude de formulation d'enrobe, ainsi que la méthodologie à suivre lors du malaxage de ce mélange et enfin la mise au point des essais expérimentaux utilisés.

A la deuxième phase, Nous avons accédé à la préparation de plaque renforcé par le géogridde est sans géogridde au niveau du laboratoire afin de connaître la durée de vie d'enrobe renforcé et la comparer avec l'échantillon et ce la par l'essai de fatigue.

A la troisième phase, nous avons présentés les résultats et interprété les essais effectués sur des plaques d'enrobé renforcée et non – renforcée par la géogridde.



**Figure .V.1 :** Etape de formulation

### V.2.Etude de formulation

#### V.2.1.Composition granulaire

Pour ce projet nous avons choisi d'étudier un béton bitumineux de classe granulaire 0/10 ; Il s'agit d'un mélange composé des trois classes granulaires : 0/3, 3/8 et 8/15.

À partir des courbes granulométriques de différentes classes granulaires distingués pour étudier la formulation, on prépare un mélange minéral où la courbe granulométrique est inscrite dans les

limites du fuseau défini par les spécifications (Figure V.1).

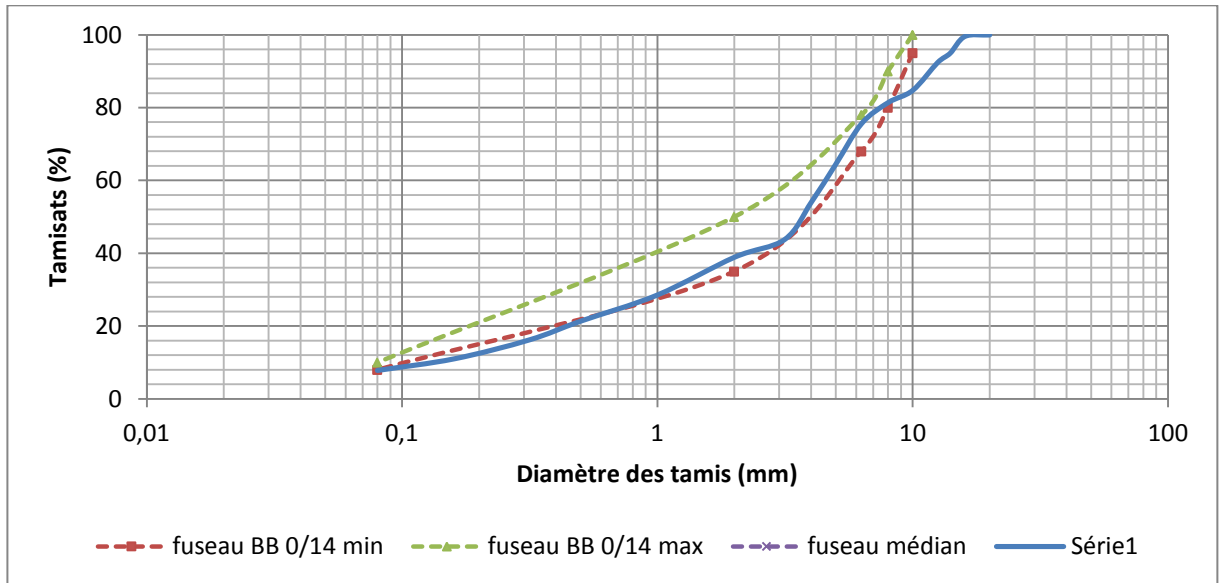


Figure V.2. Courbe granulométrique de mélange.

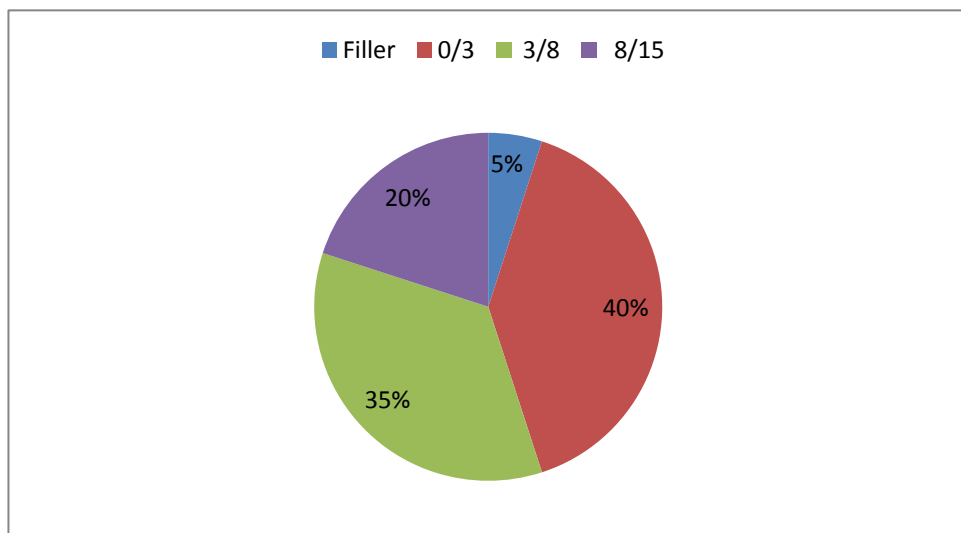


Figure V.3. Compositions granulaires du mélange.

### a) La teneur en liant

Pour calculer la teneur en liant (bitume) on a deux critères :

- Surface Spécifique des Agrégats  $\Sigma$  :

$$100 * \Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f = 12.966 \text{ m}^2/\text{kg}$$

- Coefficient Correcteur  $\alpha$  :

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

$$\text{MVRg} = 2.657 \Rightarrow \alpha = 0.997$$

**Tableau V.1.** Teneur en liant adopté de la formulation

<b>Module de richesse</b>	3.36	3.54	3.72
<b>Coefficient correcteur</b>	0.997		
<b>Surface Spécifique (m<sup>2</sup>/kg)</b>	12.966		
<b>Teneur en liant (%)</b>	5.6	5.9	6.2
<b>Masse Volumique réel (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.455	2.446	2.436

Trois dosages en liant sont calculées pour un coefficient de richesse entre 3.36 et 3.72 soit, 5.6 et 5.9, 6.2 %.

La formulation adoptée a été préparée au laboratoire, avec trois dosages différents pour soumettre le mélange aux essais de MARSHAL, pour évaluer la formulation et d'après on passe aux déterminations des performances mécaniques par l'essais de fatigue.



a) Préparation de la composition granulaire



b) Ajout de liant



c) Après le malaxage de mélanges

**Figure V.4.** Etapes de préparation des mélanges au niveau de laboratoire.

## V.2.2.Essai Marshall

### V.2.2.1.L'essai Marshall (EN 12697-34)

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 la déformation dite 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).

### V.2.2.2.Principe de l'essai

L'essai de stabilité Marshall est un essai de compression exercée suivant la génératrice d'une éprouvette de Marshall est déterminée par confection d'une éprouvette cylindrique d'une masse indicative de 1200 g, de 101 mm de diamètre et de 63,5 mm de hauteur théorique, Cette compression est appliquée sur l'éprouvette après 40 min d'immersion dans un bain d'eau à 60°C, et à la vitesse de  $50 \pm 2$  mm/mim.

### V.2.2.3. Déroulement de l'essai

Après la confection des 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  $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5$  °C avec les mâchoires d'écrasement pour une durée de 40.

Pendant ce temps, on installe également le dispositif contrôleur de cadence réglé pour une vitesse  $50 \pm 2$  mm/mim.

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 .V.5.**L'éprouvette de Marshall



**Figure .V.6.**Eprouvette dans les mâchoires



**Figure .V.7.**Appareil de compactage

### V.2.2.4. Résultats d'essai Marshall

Nous avons soumis nos éprouvettes à l'essai Marshall dont les résultats sont indiqués dans le tableau suivant:



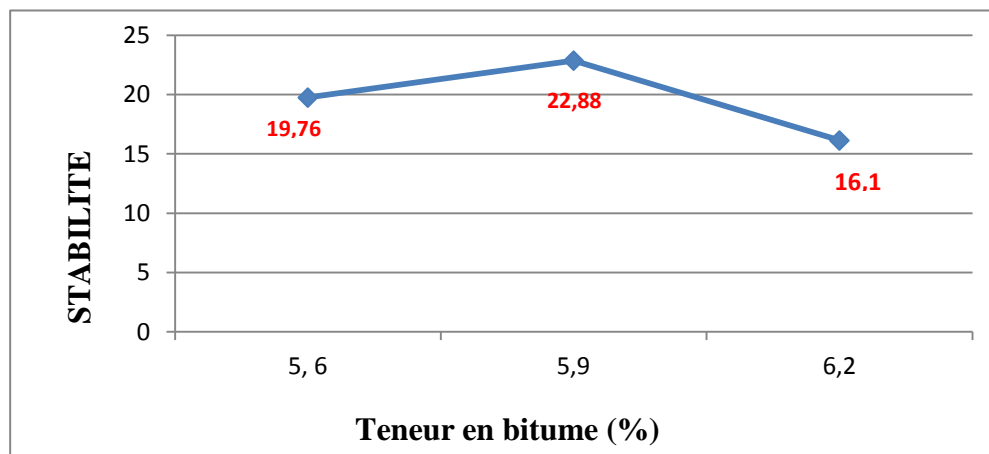
**Tableau V.2. Résultats d'essai Marshall.**

	Mélange A	Mélange B	Mélange C
Teneur en bitume (%)	5,6	5,9	6,2
Stabilité Marshall (KN)	19,76	22,88	16,14
Fluage (mm)	1,86	3,13	2,49

### V.2.2.5. Analyse des résultats

La variation des caractéristiques de l'enrobé en fonction de la teneur en bitume est traduite par les représentations graphiques dites courbes de propriétés ci-jointes :

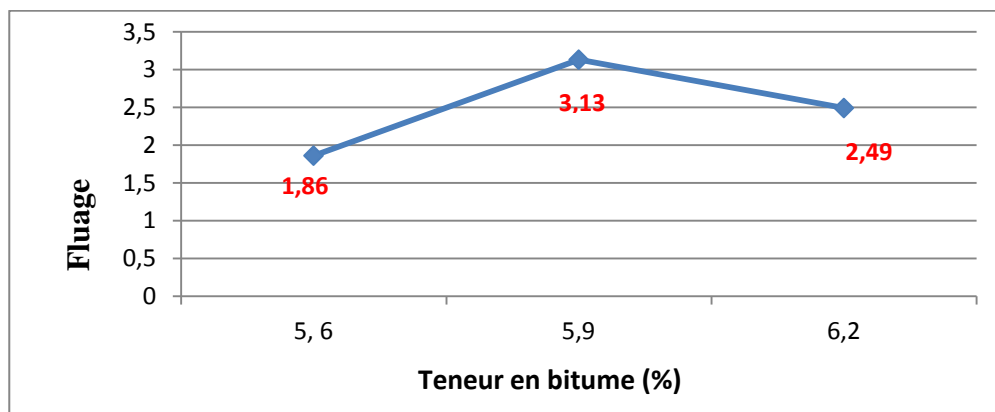
#### V.3.4.1.1. La Variation de la stabilité en fonction de la variation de la teneur en bitume



**Figure IV.8.** Variation stabilité - teneur en bitume.

On constate que la stabilité croître en fonction de le dosage de bitume progressivement jusqu'au point de 5,9 de dosage où on observe une diminution dans la courbes étudié cela explique la chaut remarquable de la résistance aux déformations dans cette intervalle.

#### V.3.4.1.2. La Variation de fluage en fonction de la variation de la teneur en bitume



**Figure IV.9.** Variation fluage - teneur en bitume.

La variation des valeurs du fluage en fonction de la teneur en bitume est admissible et reste toujours inférieur au seuil fixé par les normes.

### V.2.3.Essai de la fatigue

Après avoir les résultats conformes de l'essai MARSHAL, comme nous avons montré dans le point précédent, on a adopté de suivre l'étude avec un seul dosage de 5,9 %, ce dernier utilisé pour tester les performances de fatigues.

On essaye de simuler la fabrication d'un corps de chaussée composé de deux couches d'enrobés en MBB/MBB. La simulation réalisée par un compacteur de plaque à roue, on a préparé deux plaques de 500 x 180 x 50 mm<sup>3</sup> de MBB/MBB collées par émulsion (non renforcée) et une autre de mêmes dimensions et même composition collée par émulsion et géogrid (renforcée), ces plaques ont été utilisées dans la préparation des éprouvettes trapézoïdales.

#### a) Préparation de la plaque d'enrobé renforcé et non renforcé par géogrid

Les étapes de la préparation de l'échantillon étaient les suivantes :

#### b) Préparation de la plaque d'enrobé de dimensions 50 cm x 18 cm x 5 cm (1<sup>ère</sup> couche) :

Le mécanisme de compactage est basé sur le levage de l'enrobé frais après la pose, le levage est fait graduellement jusqu'à 5 cm, d'où on sort une demi-plaque qui représente la 1<sup>ère</sup> couche, le compactage suit les instructions de la norme EN 12697 – 33, on utilise une force de compactage de 1 kN par une seule roue avec une pression de 1 bar au début et continue avec 5 kN et une pression de 6 bars après certaines étapes.



d) Préparation d'enrobé  
Sur la plaque

e) compactage roues  
lourdes

f) demi-plaque

**Figure V.10.** Etapes de préparation de demi plaque de 1<sup>ère</sup> couche.

#### c) Préparation de la couche d'accrochage

Répandre la couche d'accrochage sur la 1<sup>ère</sup> couche préparée avant, par émulsion

cationique à rupture rapide (ECR69%), à de 700 g /m<sup>2</sup>, en attendre jusqu'à la rupture d'émulsion, qui se traduit par le changement de sa couleur de brun à noir (noté après 1 heure)



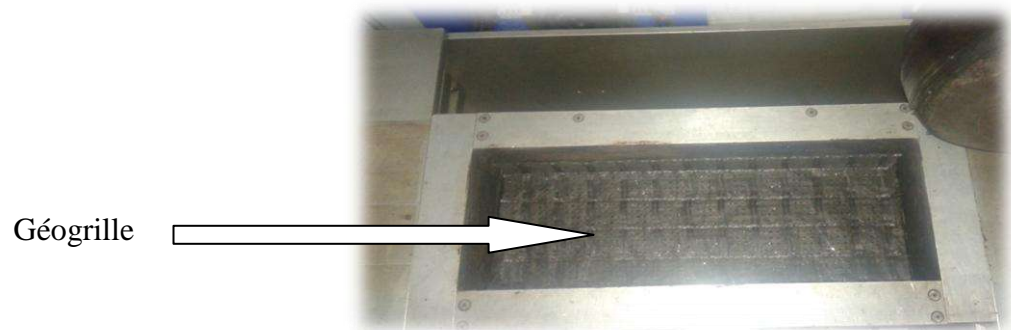
**Figure V.11.** Étapes d'ajout d'émulsion sur la plaque de 1ère couche.



**Figure V.12.** Rupture de l'émulsion après 1h.

#### d) La pose de la couche de renforcement (cas plaque renforcée en géogrille)

Dans le cas de plaque renforcée en géogrille, on déroule le tapis de géogrille sur la plaque, après la rupture d'émulsion, on assure le recouvrement transversal et longitudinal du produit de répandage en émulsion sur les lés



**Figure V.13.** Dérouler le tapis de géogrille sur la plaque de 1ère couche.

#### e) Pose de 2ème couche

Après le déroulement de tapis de géogrille, on pose l'enrobé frais qui compose la 2eme couche, on applique cette fois les même étapes de compactage discuté au paravent.

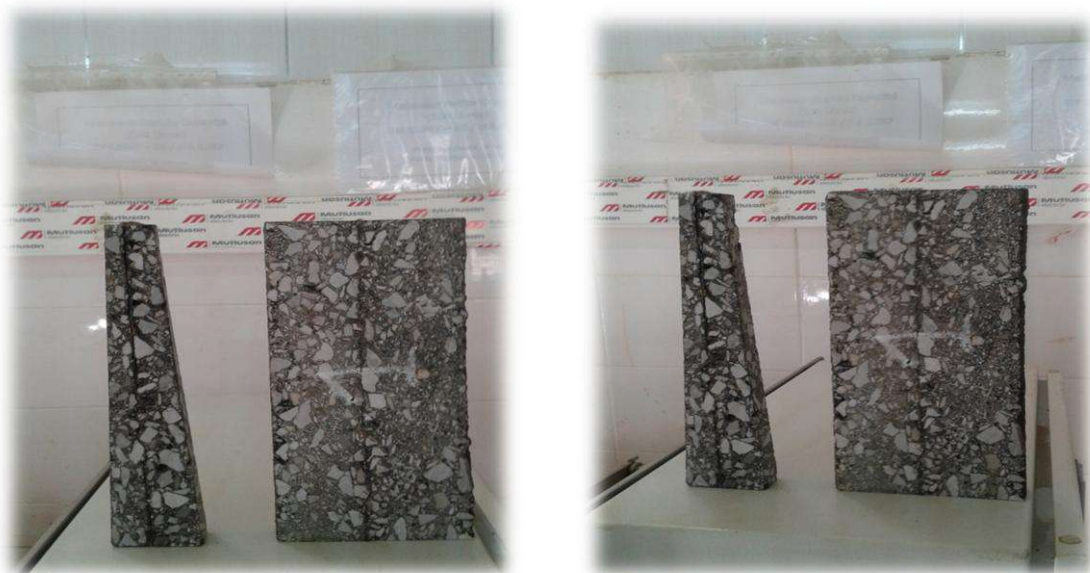


**Figure V.14.** Une plaque renforcée par géogrille.



**Figure V.15.** Opération de coupage d'une plaque de fatigue.

Dans le but de formuler des éprouvettes d'une forme trapézoïdale de 56 mm sur la base, 25 mm dans la tête, une hauteur de 250 mm et épaisseur de 25 mm avec une tolérance de  $\pm 1$  mm.



**Figure V.16.** Etapes de former une éprouvette trapézoïdale a partir une plaque de 25 mm d'épaisseur.

Dans notre cas on a préparé 4 éprouvettes correctes en termes de dimension.

Après 15 jours de conservation à la température ambiante, et pour déterminer la résistance à la fatigue on teste les éprouvettes à une température de 10° et une fréquence de 25 Hz avec des microdéformation de 80  $\mu def$ .



**Figure V.17.** Ajustement de l'appareil et fixation des éprouvettes avant teste.

### V. 3. ANALYSE DES RESULTAS

Cette partie a pour objectif de représenter les résultats obtenus de plaques d'enrobés renforcées et non – renforcée par la géogridde.

#### V.3. Résultat d'essai fatigue (NF EN 12697-24)

On utilise l'appareil flexion deux points pour déterminer la résistance à la fatigue, dans ce cadre on matient les éprouvettes à une température de 10 °C et une fréquence de 25 Hz, les conditions référentielles de la norme de spécification EN 13108 – 1 avec des microdéformations de 80  $\mu$ .

Le tableau ci-dessus présente les résultats de l'essai avec ces deux éprouvettes avec géogridde et deux éprouvettes sans géogridde.

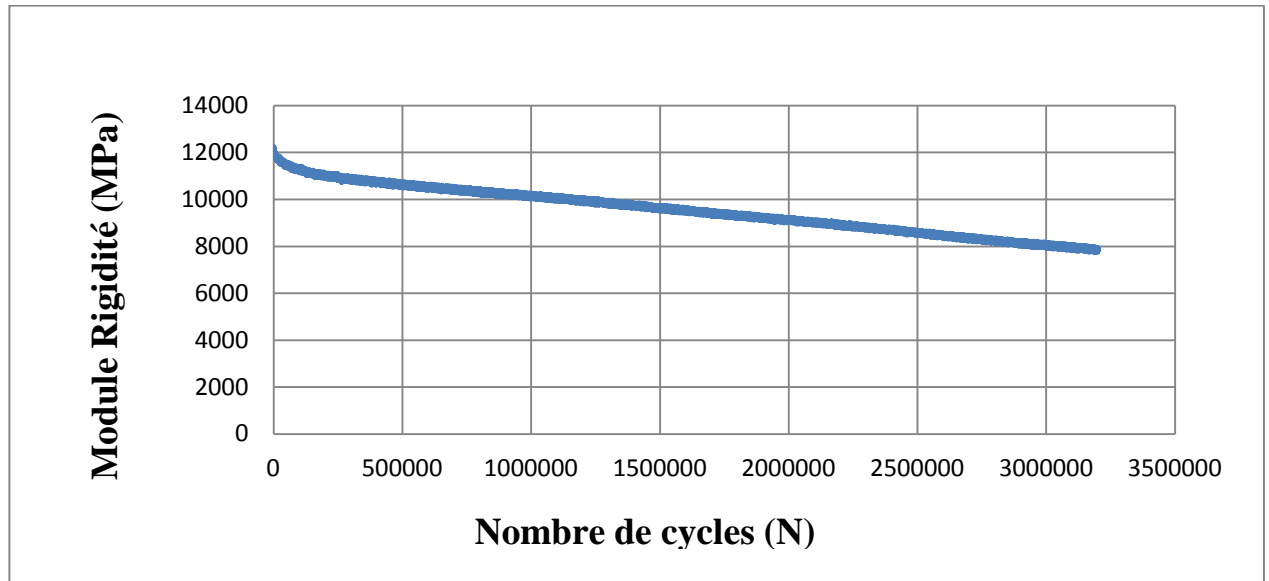
Le tableau suivant présente quatre (4) éprouvettes deux éprouvettes renforcés avec géogridde et les deux éprouvettes non renforcés sur lesquels on a fait un essai de fatigue et par le Chargement à 80 microdéformations. Les résultats obtenus montrent que la rigidité initiale des deux éprouvettes non renforcée sont plus fortes que celles des deux éprouvettes non renforcées .même chose pour le nombre de cycle.

**Tableau V. 2.** Les résultats de l'essai avec les quatre éprouvettes.

épreuve	Geo A	Geo B	ECR.A	ECR.B
Déformation impose ( $\mu$ def)	80	80	80	80
Rigidité initial (MPa)	11377	10077	10911	12238
Moyenne de Rigidité initial (MPa)	10727		11574,5	
Nombre de Cycles d'échec	569333	447114	2200987	3040318
Nombre de moyen des Cycles d'échec	508223,5		2420652,5	

Durant l'essai on mesure l'évolution de module durant le chargement, les courbes présentent dans les figures de l'V.18 à l'V.19.

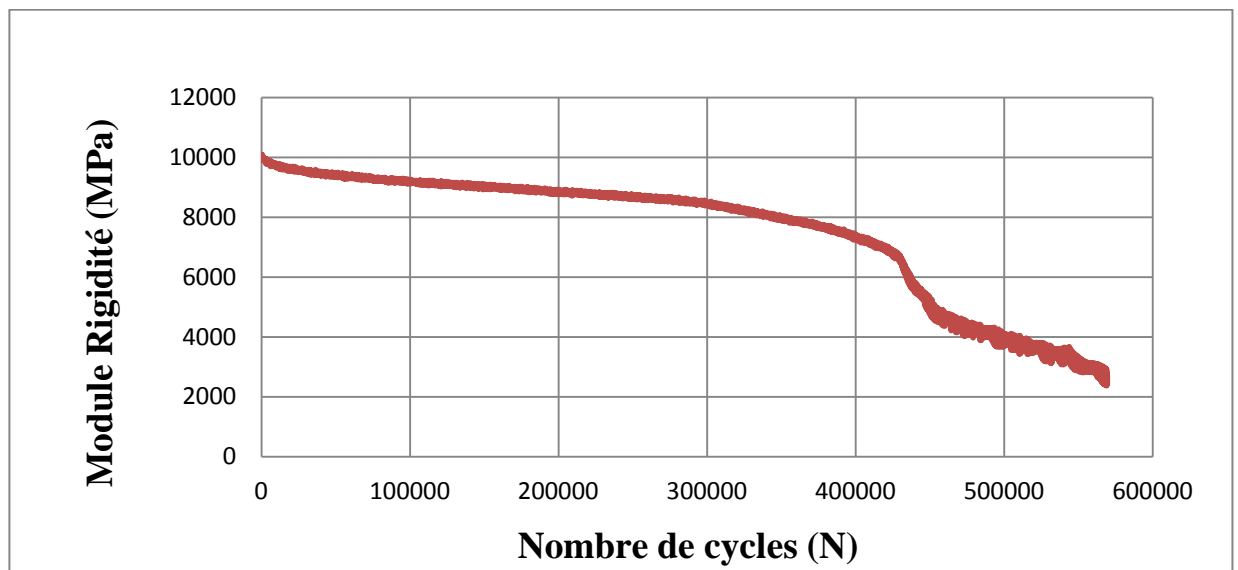
### V.3.1.Éprouvette B-Emulsion-ECR-69



**Figure V.18.** Evolution de module de rigidité en fonction le nombre de cycles de chargements à éprouvette émulsion B.

L'évolution de module dans ce cas de éprouvette non renforcée par géogridde, présente une diminution locale dans les premières 1 000 cycles ce que n'appelle la phase d'échauffement, cette chute relie au l'augmentation de température sous la répétition de chargement durant l'essai par la fréquence 25 Hz, la diminution continue par un palier linéaire jusqu'à la moitié de module ou en considère notre enrobé comme étant fatigué.

### V.3.2.Éprouvette B géo-grille



**Figure V.19.** Evolution de module de rigidité en fonction le nombre de cycles de chargements à éprouvette géogridde B.

A partir de ce résultat nous avons confectionné un histogramme de la moyenne de rigidité initial et de nombres de cycles

Chacune des deux courbes représente le nombre moyen de cycles enregistrées au cours de l'essai, le nombre moyen de cycles sur le graphique représentant chacun des deux éprouvettes indiquant que l'éprouvette avec émulsion un peu que le éprouvette avec géogrille

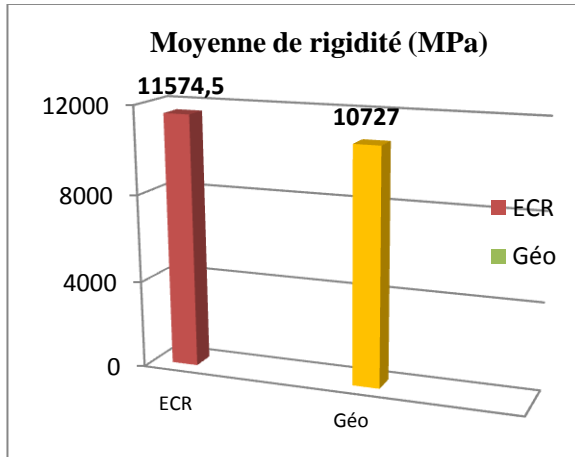


Figure V.20. Histogramme Moyenne de Rigidité initial

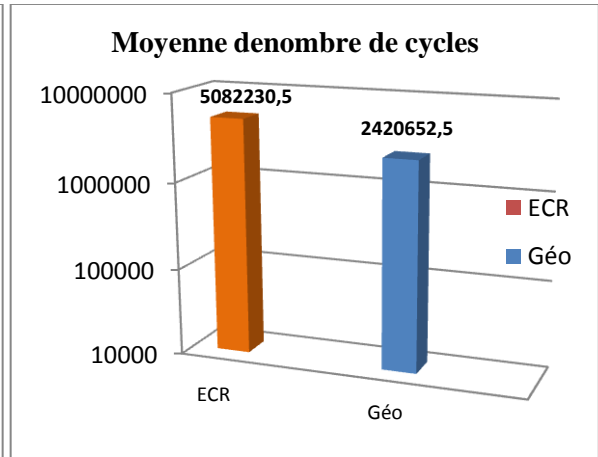


Figure V.21. Histogramme Moyenne de Nombre de Cycles d'échec

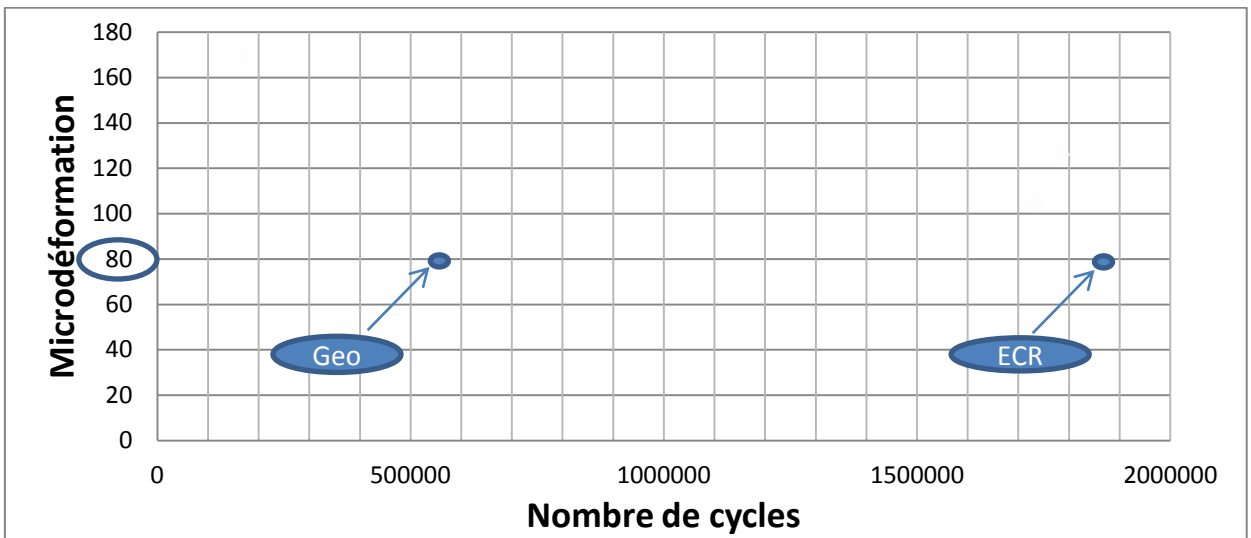


Figure V.22. Projection et détermination de  $\epsilon_6$ .

La représentation classique des résultats de l'essai de fatigue se fait par la courbe de Wöhler, ce que n'utilise dans la présentation de notre résultat. La courbe de Wöhler présente une droite qui relie entre la microdéformation en fonction de nombre de cycles.

Dans notre cas, nous ne pouvons pas de tracer la courbe de Wöhler à cause de :

- Le nombre des éprouvettes n'est pas suffisant
- La réalisation de l'essai de fatigue prend beaucoup de temps



- La rupture rapide de l'éprouvette après le chargement 80  $\mu$ df

La relation suivante représente la différence entre le résultant de module de rigidité des éprouvettes renforcées et non renforcées :

$$\frac{ECR E^* - GeoE^*}{ECR E^*} = \frac{11574,5 - 10727}{11574,5} = 0,073 * 100 = 7,32 \%$$

L'essai ont permis d'observer que la géogrille n'a pas d'influence sur la rigidité des éprouvettes et que le module de rigidité de la composition est le même que celui du béton bitumineux non renforcé. On s'aperçoit que le module des éprouvettes renforcées par géogrille est inférieur au module des éprouvettes non renforcées, ce qui peut venir de la présence des interfaces qui se créent entre les deux matériaux. Toutefois, cette différence n'est pas significative ( $\approx 7\%$ ) et peut être considérée comme une dispersion expérimentale (confection et compactage).

On observe que le comportement des éprouvettes testés vis à vis le chargement cyclique est le même durant les premières 1000 cycles (phase d'échauffement), les résultats après 1000 cycles sont convergent.

Les figures ci-dessous représentent l'état de fissuration des éprouvettes renforcées par géogrille et des éprouvettes non renforcées après les réalisations de l'essai.

On observe sur l'éprouvette renforcée par la géogrille que l'évolution de la fissure est limitée à la nappe de grille dans les deux côtés (Figure V.22), c'est à dire que chaque section de géogrille (gauche et droite) fonctionnent indépendamment à l'autre (Figure V.24) et la géogrille joue le rôle d'une couche anti propagation de fissures. Contrairement les éprouvettes non renforcées, la fissures travers le corps d'échantillon de cotés à l'autre passé par la couche d'émulsion (Figure V.23 et V.25).



Figure V.22. Fissuration d'éprouvette renforcé par géogrille

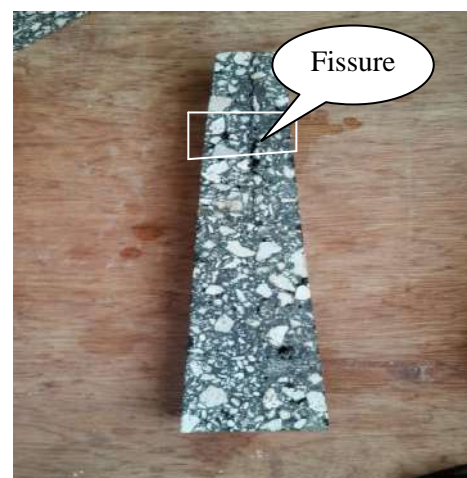


Figure V.23. Fissuration d'éprouvette non renforcé



Figure V.24.sans de Fissuration d'éprouvette renforcé par géogrille



Figure V.25.sans de Fissuration d'éprouvette non renforce

CONCLUSION

GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

A recherche d'une plus grande durabilité des couches de surface et de meilleures résistances vis-à-vis la fatigue des couches bitumineuses ont été pour améliorer les propriétés des enrobées bitumineux et les structures de chaussées.

Par cette étude, nous avons voulu amélioration pourrait s'obtenir par l'utilisation d'une nappe de géogridde noyée entre deux couches de liant appliquée sous forme d'émulsion, Ceci au cours de réalisation des nouvelles structures et même-ci lors la réhabilitation des voies fissurées et d'anciennes chaussées.

Notre mémoire rentre dans ce contexte, elle a étudié la possibilité d'utiliser l'essai du fatigue 2 pointe complexe sur les éprouvette renforce par la géogridde et non renforce

A la fin de cette étude nous avons en peut conclue ce qui suit :

- La résistance à la fatigue des éprouvettes non renforcées (accorde du ECR 69% et sans géogridde) est plus forte que la résistance à la fatigue des éprouvettes renforcées, ce phénomène n'est pas compatible avec les recherches effectuées précédemment en mode d'essai 4 point tel que la recherche de [Dr. Ioana Maria Arsenie ; Université de Strasbourg ; 2013 ; Français] et qui sont unis par les résultats obtenus.
- Le mode d'essai 2 point n'est pas efficace pour mesurer la résistance et évaluer le comportement de fatigue dans le cas du renforcement en géogridde.
- La rigidité des éprouvettes non renforcées et plus que les éprouvettes renforcées, ainsi selon l'hypothèse et les recherches effectuées sur la résistance à la fatigue montre que l'éprouvette la plus rigide est moins résistante donc, c'est un primer principe, les éprouvette non renforcées est moins résistante contrairement aux résultats trouvés, ce qui confirme que 2 point est n'est pas efficace.
- Cette étude vise de donne une estimation de la durée de vie par un essai de la fatigue au niveau laboratoire, les résultats n'étaient Pas satisfaisants, par une résistance au microdéformation inférieur à tel spécifie dans la norme.

Au terme de notre étude on peut formuler certaines recommandation relatives à l'utilisation des l'enrobe renforce par géogridde pour l'essai de la fatigue

- L'utilisation de la classe granulaire qui permet d'obtenir un mélange bien homogénat (classe granulaire 0/10, à la place de classe granulaire 0/14).
- Faire un essai un grand nombre des éprouvettes pour obtenir une bonne résultante.

## **Les perspectives**

- On propose d'utiliser les meilleures techniques en évaluation de comportement de la matière durant de l'essai (étude de développement thermographie infrarouge durant un essai de la fatigue).
- On propose de faire une étude comparative entre les deux essais 2 point - 4 point.

# LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

**Abdelaziz BOUMADIANE, (2015)** : « Manuel technique de l'ingénieur routier : les enrobés bitumineux, formulation, exécution, contrôle de qualité », Laboratoire d'Expertise, d'Etude et d'Essais, L3E, Maroc.

**CST COLAS, (2006)**: « Commission Scientifique et Technique», Paris, France.

**CTTP (2001)** : « *Contrôle Technique des Travaux Publics.* » , Algérie.

**De la Roche (1996)** : « Module de rigidité et comportement en fatigue des enrobés bitumineux », Ecole Centrale de Paris, France.

**François OLARD, (2003)** : « Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basses températures : relations entre les propriétés du liant et de l'enrobé », Institut National des Sciences Appliquées INSA, Lyon, France.

**Hassan BAAJ, (2002)** : « Comportement a la fatigue des matériaux granulaires traites aux liants hydrocarbonés » Institut National des Sciences Appliquées INSA, Lyon, France.

**Houda HAOUAM ,(2010)** : « Etude numérique d'un mur de soutènement en sol stables et renforcé avec fibres et geogrilles », UBM Annaba , Algérie.

**Jean Claude MOREUX, (1987)** : « Compacteur a cisaillement giratoire et simulateur de circulation (Orniereur) », Laboratoire Central De Ponts Et Chaussées, Paris, France.

**Jean François CORTE et Hervé DI BENEDETTO, (2005)** : « Matériaux routiers bitumineux 2 : constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges bitumineux, volume 2 », Hermès Lavoisier, France.

**Jean-Luc DELORME, Chantal de la ROCHE, Louissette WENDLING, (2007)** : « Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés », Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France.

**KHENGAOUI Safia, (2013)** : « Valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable – bitume », UKM Ouargla, Algérie.

**M. Meunier, (2012)** : « Prédiction de l'orniérage lie aux déformations permanentes des enrobes bitumineux », Ecole Centrale de Nantes, France.

**Mai Lan NGUYEN, (2009)** : « Etude de la fissuration et de la fatigue des enrobés bitumineux » Institut National des Sciences Appliquées INSA, Lyon, France.

**Mohammed AFECHKAR** : « la fatigue des enrobes bitumineux, Impact de la température et de la nature des granulats », CNER, Algérie.

**Nabil KEBAILI ,(2017) :** « l'asphalte caoutchouc valorisation de la poudrette de caoutchouc en domaine routier ». UKM Ourgla, Algérie.

**Prato et Coll, (2011) :** « Rating of bituminous mixtures : Wheel trekking tests Campagneo analysais »,

**Rilem17, (1998) :** « bituminous binder and mixes –Rilem report, n° 17 » ,London Angleterre.

**Rabai BAZZINE ,(2017):** « influence de l'ajout de la poudrette de caoutchouc sur la stabilite des enrobes bitumineux ». UKM Ourgla, Algérie.

**Safia KHENGAOUI, (2013):** « valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable-bitume». UKM Ourgla, Algérie.

**Said LALDJI, (2015):** « Les Enrobés bitumineux », ETS Cours.

**Yann LEFEUVRE, (2001) :** « Contribution à l'étude du comportement en fatigue des enrobés bitumineux, Etude de l'allongement des éprouvettes comme manifestation de l'endommagement diffus, Expérimentation - Modélisation », Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France.

## Liste des normes :

**EN 13108-1 (2007) :** « Spécifications des matériaux - Partie 1 : Enrobés bitumineux ».

**NF EN 12697 – 10 (2003) :** « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 10 : Compactibilité ».

**NF EN 12697-24, (2005) :** « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 24 – Résistance à la fatigue ».

**NF EN 12697-26, (2004) :** « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 26 – Module de rigidité ».

**NF EN 12697 – 31, (2003) :** « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 31 : Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire ».

**NF EN 12697-33, (2004) :** « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 33 – Confection d'éprouvettes au compacteur de plaque ».

**NF P 98 – 250 – 3, (1992):** « Essais relatifs aux chaussées: Préparation des mélanges hydrocarbonés - Partie 3: confection des éprouvettes dans un bloc de mélange hydrocarboné ».

**NF P 98 – 260 – 1, (2001):** « Essais relatifs aux chaussées: Détermination la résistance au fatigue des mélanges hydrocarbonés -Partie 1: Essai par flexion deux points à amplitude de flèche constante sur éprouvettes trapézoïdale isocèles ».



## HaTelit® C 40/17

**HATELIT C 40/17** ASPHALT REINFORCEMENT GEOGRID PROVIDES *THE BEST SOLUTION* TO REFLECTIVE CRACKING IN ASPHALT OVERLAYS. HATELIT IS AN ASPHALT REINFORCEMENT COMPOSITE WHICH COMBINES A HIGH MODULUS POLYESTER GEOGRID WITH A LIGHTWEIGHT NON-WOVEN. THIS COMPOSITE IS COATED WITH BITUMEN TO STRENGTHEN THE BOND WITH THE ASPHALT LAYERS. HATELIT COMBINES WITH THE ASPHALT LAYER TO INCREASE THE TENSILE STRENGTH, THEREBY REDUCING TENSILE STRESS PEAKS. REFLECTIVE CRACKING IS ALSO REDUCED DUE TO HATELIT AND ASPHALT HAVING SIMILAR THERMAL EXPANSION PROPERTIES. HATELIT ASPHALT REINFORCEMENT REDUCES MAINTENANCE COSTS AND EXTENDS THE SERVICE LIFE OF THE OVERLAY.

### Physical Properties of HaTelit® C40/17

PROPERTY	TEST METHOD	ENGLISH units <sup>1</sup>	SI units <sup>1</sup>
<b>Mass/Unit Area</b>	ASTM D-5261	8 oz/yd <sup>2</sup>	270 g/m <sup>2</sup>
<b>Aperture Size</b>	Measured	1.5 x 1.5 inch	40 x 40 mm
<b>Open Area of Grid</b>	CWO 22125	>80 %	>80 %
<b>Wide Width Tensile Strength</b>			
Machine Direction (MD)	ASTM D-6637	3,425 lb/ft	50 kN/m
Cross-Machine Direction (CMD)	ASTM D-6637	3,425 lb/ft	50 kN/m
<b>Tensile Strength @ 3% Strain</b>	ASTM D-6637	825 lb/ft	12 kN/m
<b>Elongation at Break</b>	ASTM D-6637	<10 %	<10 %
<b>Shrinkage @ 375° F for 15 min</b>		<1%	<1%
<b>Melting Point</b>	ASTM D-276	490° F	255° C

<sup>1</sup>MARV - Minimum average roll values are based on a 95% confidence level.

Standard Roll Size: 13.12 ft (4 m) wide x 492.1 ft (150 m) long = 717 yd<sup>2</sup> (600 m<sup>2</sup>)  
Weight: 485 lb/roll (220 kg)

Each roll of HaTelit® delivered to the project site is labeled by Huesker with a roll label that indicates manufacturer's name, product identification, lot number, roll number and roll dimensions. All rolls of HaTelit are encased in a sturdy polyethylene wrap to shield the product from rain, dirt, dust and ultraviolet light. Contact Huesker for information on our material warranty.

P.O. Box 411529, Charlotte, NC 28241-1529 • (800) 942-9418 • FAX (704) 588-5988  
www.huesker.com

**ملخص:** نسعى من خلال هذا العمل عن المزيد من اجل ديمومة لطبقات السطح ومقاومة أفضل للتعب وتكسير الطبقات الخرسانية و لتحسين خصائص الخلطات أهم دوافع و محركات أعمال البحث والتطوير المنجزة على مدار الأربعين عامًا الماضية لم يعد المزيج الخرساني في تكوينه التقليدي يسمح بمقاومة مرضية في ظل حركة مرور كثيفة وكذلك الظروف المناخية التي هي في الأصل المصدر الاول من تشوهات الطبقات العليا من الطريق. تتطلب هذه القيود البحث عن مواد جديدة للتغلب على أوجه القصور في الخلطات تهدف هذه العمل إلى تحسين خصائص المزيج الخرسانية التقليدية بإضافة طبقة من التركيبات الجيو سانتيتيك إلى الرصيف و دراسة تفاعل الخليط في المختبر مباشرة .

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة الاسفلتية التقليدية, حاملة الطريق , الصلابة , التعب , مارشال , التدعيم , جيوسنتيتيك

**Résumé :** La recherche d'une plus grande durabilité des couches de surface et des meilleures résistances vis-à-vis la fatigue et l'orniérage des couches bitumineuses ont été les moteurs principaux des travaux de recherche et de développement menés depuis une quarantaine d'années pour améliorer les propriétés des enrobés bitumineux. L'enrobé bitumineux dans sa configuration traditionnelle ne permet plus une résistance satisfaisante sous un trafic lourd et canalisé ainsi que les conditions climatiques qui sont à l'origine des déformations des couches supérieures des chaussées. Ces contraintes imposent la recherche de nouveaux matériaux pour palier aux insuffisances des enrobés ordinaires.

L'objectifs de cette travail est l'amélioration des propriétés et qualités des enrobés bitumineux traditionnelles par l'ajout d'une nappe de géosynthétiques aux corps des chaussées et l'étude ainsi de suite eu laboratoire du comportement de l'ensemble (béton bitumineux renforcé par la géosynthétiques).

**Mots clés :** enrobés bitumineux traditionnelles, chaussées, durabilité, fatigue, Marchal, renforcement, géosynthétiques.

**Abstract:** The search for greater surface layer durability and better resistance to fatigue and rutting of bituminous layers has been the driving force behind the research and development work carried out in the last forty years

. years to improve the properties of bituminous mixes. The bituminous mix in its traditional configuration no longer allows a satisfactory resistance under a heavy and channelized traffic as well as the climatic conditions which are at the origin of the deformations of the upper layers of the roadway. These constraints require the search for new materials to overcome the shortcomings of ordinary mixes.

The objectives of this thesis is the improvement of the properties and qualities of traditional bituminous mixes by adding a layer of geosynthetics to the pavement and the study and so on in the laboratory the behavior of the whole (asphalt concrete reinforced by geosynthetics).

**Key words:** traditionnel bituminons mixes, pavements, durability, fatigue, Marchal, geosynthetic, renforcement.