

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies Et Ouvrages D'art

Thème

**INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA RESISTANCE
À LA FATIGUE DES ENROBÉS BITUMINEUX
CAS DES RÉGIONS DE : GHARDAÏA ET OUARGLA**

Présenté par :

- ❖ **ACILA Abdelhamid**
- ❖ **SAIDI Boubakeur**

ABANI Said	MCB	UKMO	Président
KEBAILI Nabil	MCB	UKMO	Examineur
AMIEUR Abdenacer	Directeur Technique	LTPS	Encadreur
BOUCHERBA Mohammed	Doctorant /Ingénieur d'étude	UKMO/LTPS	Co-encadreur

Année Universitaire : 2018/ 2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir notre travail dans les meilleures conditions.

Nous tenons à remercier notre encadreur

Mr. AMIEUR Abdenacer et Co-encadreur

Mr. BOUCHERBA Mohammed.

Nous remercions vivement et infiniment, toute l'équipe du laboratoire LTPS-Ghardaïa.

Nous remercions beaucoup Mr. ABANI Saïd pour son grand honneur de présider le jury de notre mémoire.

On tient à exprimer nos vifs remerciements à

MR. KEBAILI Nabil qui nous a fait l'honneur d'être l'examineur de notre travail.

Nous remercions tout le personnel administratif de l'université ainsi que nos enseignants durant toute notre formation, sans oublier les responsables de la bibliothèque qui nous ont beaucoup facilité notre recherche bibliographique.

Enfin, nos pensées à tous ceux qui nous

ont aidé pour

la réalisation de ce modeste travail.



Dédicaces

*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 chères sœurs et mes frères

*A toute ma grande famille et tous ceux une relation avec elle
de proche ou de loin.*

*A mes amis spécialement Riadh Redouane ,A.hafid Mellakh
et les collègues de l'université.*

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



ACILA Abdelhamid



Dédicaces

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents: ma mère et mon père
pour leur patience, leur amour,
leur soutien et leurs encouragements.*

A mes chères sœurs et mes frères

*A toute ma grande famille et tous ceux une relation avec elle
de proche ou de lointe.*

*A mes amis : Saada Rabie, Othmani Abdelhamid et les collègues
de l'université.*

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



SAIDI Boubakeur

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Chapitre I : Généralités sur les enrobés bitumineux et étude de formulation	
I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. DÉFINITION DE L'ENROBÉ BITUMINEUX.....	3
I.2.1. Composition des enrobés bitumineux.....	3
I.2.2. Rôles des granulats dans l'enrobé.....	4
I.2.3. Classification des granulats.....	5
I.3. CLASSIFICATION DES ENROBÉS BITUMINEUX.....	5
I.3.1. Béton bitumineux (BB).....	6
I.3.2. Grave-Bitume (GB).....	7
I.3.3. Sable bitume (SB).....	7
I.3.4. Bétons bitumineux à module élevé (BBME).....	7
I.3.5. Enrobe à module élevé (EME).....	8
I.4. ETUDE DE FORMULATION.....	8
I.5. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX.....	8
I.6. ESSAI SUR GACHET AU LABORATOIRE.....	9
I.7. APERÇU SUR LA REGION GHARDAIA ET OUARGLA.....	10
I.7.1. La région d'Ouargla.....	10
I.7.2. La région Ghardaïa.....	11
CONCLUSION.....	12
Chapitre II : Le phénomène de fatigue	
II.1. INTRODUCTION.....	13
II.2. FONCTIONNEMENT DE LA CHAUSÉE.....	13
II.3. PHENOMENE DE LA FATIGUE DES ENROBES BITUMINEUXN.....	17
II.3.1. Notations et définitions.....	18
II.3.2. Dispersion des durées de vie.....	19
II.3.3. Paramètres influençant le comportement en fatigue.....	19
II.3.3.1. Effet du mode de sollicitation et critère de rupture.....	20
II.3.3.2. Effet de l'échauffement.....	20
II.3.3.3. Effet de la température d'essai.....	21
II.4. APPROCHES EXPERIMENTALES.....	24
II.4.1. Essai flexion 2 points.....	24
II.4.2. Essai flexion 3 points.....	25
II.4.3. Essai flexion 4 points.....	25
CONCLUSION.....	26

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux

III.1. INTRODUCTION.....	27
III.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	27
III.2.1 Granulats.....	27
III.2.1.1. Gravier.....	27
a) Analyse granulométrique.....	27
b) La propreté de sable (ES à 10 %)......	29
c) Masse volumique.....	29
d) Essai Micro-Deval en présence d'eau (MDE) (NF P 18-572).....	30
e) Essai Los Angeles (NF P 18-573).....	31
f) Analyses chimiques sommaires (NF 15-461).....	31

Chapitre IV : Étude de formulation et caractérisation de l'enrobé

IV.1. INTRODUCTION.....	33
IV.2. ETUDE DE FORMULATION.....	33
a) Composition granulaire.....	33
b) La teneur en liant.....	34
IV.3. PERFORMANCE DE MÉLANGE.....	35
IV.4. RÉSULTANT DE MÉLANGE.....	36

Chapitre V : Dispositif expérimental

V.1. INTRODUCTION.....	37
V.2. PRÉPARATION DES MELANGES.....	37
V.3. PRÉPARATION DES ECHANTILLONS.....	38
V.4. COMMENT DIVISER LES ECHANTILLONS EN TROIS GROUPES	41
ANALYSE DES RESULTATS.....	

Chapitre VI : Analyse des résultats

VI.1. INTRODUCTION.....	44
VI.2. INFLUENCE DE TEMPÉRATURE SUR LA RIGIDITE.....	44
VI.3. INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LE NOMBRE DE CYCLES..	45
VI.4. INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA DROITE DE FATIGUE...	46
VI.5. CONCLUSION.....	47
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	48
LISTE DES RÉFÉRENCES.....	/
ANNEXES.....	/
RESUME.....	/

Liste des figures

Figure I.1. Classification des enrobés bitumineux.....	6
Figure I. 2. Epreuve de formulation (Essai approche empirique et fondamental)	9
Figure I.3. La région de la carte géographique de la wilaya d'Ouargla.....	10
Figure I.4. Diagramme de température de la Région Ouargla.....	10
Figure I.5. Le wilaya de Ghardaïa sur la carte de l'Algérie.....	11
Figure I.6. Diagramme de La Température de région Ghardaïa.....	12
Figure II.1. Schématisation des sollicitations induites par le trafic.....	14
Figure II.2. Positionnement d'une jauge axiale à la base d'une chaussée (point A), à une profondeur d pour étudier les déformations dues au passage d'une roue à une vitesse V.....	14
Figure II.4. Signal de déformation enregistré à la base de la chaussée lors du passage d'une roue à vitesse constant.....	15
Figure II.5. Différents comportements des enrobés bitumineux.....	17
Figure II.6. Courbe de WÖHLER (droite de Fatigue).....	18
Figure II.7. Évolution de la perte de raideur, lors d'un essai de fatigue par flexion deux points.....	21
Figure II.8. Évolution des droites de fatigue à différentes températures en flexion 4 points à déformation impose.....	22
Figure II.9. Évolution des droites de fatigue pour différentes températures d'un enrobé bitumineux.....	22
Figure II.10. Variation d' ϵ_6 avec la température à 25Hz, d'après Moutier.....	23
Figure II.11. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 2 points.....	24
Figure II.12. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 3 points.....	25
Figure II.13. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 4 points.....	26
Figure III.1. Courbes granulométriques des graviers 3/8 et 8/15 utilisés.....	27
Figure III.2. Courbes granulométrique du gravier 0/3 utilisé.....	28
Figure IV.1. Composition granulométrique du mélange.	34
Figure IV.2. Répartition granulaire du mélange.	34
Figure IV.3. Illustration des résultats Marshall.....	36
Figure V.1. Histogramme des changements de température des régions de Ouargla et Ghardaïa.....	42
Figure VI.1. Rigidité initiale (E_i) en fonction de la température T	44
Figure VI.2. Durée de vie « N » pour chaque température.	45
Figure VI.3. Droites de fatigues.	46
Figure VI.4. Superposition des droites de fatigue.	47

Liste des photos

Photo II.3. Machine de manège.....	15
Photo II.1. Appareil de l'essai de flexion 2 points.....	25
Photo II.3. Appareil de l'essai de flexion 4 points (DWW- Pays Bas).....	26
Photo III.1. Équipements pour analyse granulométrique.....	28
Photo III.2. Essaie ES à 10%.....	29
Photo III.3. Machine Micro-Deval.....	30
Photo III.4. Machine Los Angeles.....	31
Photo IV.1. Essai Marshall.....	35
Photo V.1. Images des ingrédients du mélange.....	37
Photo V.2. Etapes de préparation des mélanges au niveau du laboratoire	38
Photo V.3. Compacteur de plaque à roue EN 12697-33/NA 5369.....	39
Photo V.4. Préparation du moule d'asphalte.....	40
Photo V.5. Etapes de formulation d'éprouvettes trapézoïdale.....	40
Photo V.6. Appareil de l'essai de flexion 2 points de l'extérieur.....	41
Photo IV.7. Appareil de l'essai de flexion 2 points de l'intérieur.....	43

Liste de tableaux

Tableau II.1. Fréquences de sollicitation en fonction de la vitesse de roulement.....	16
Tableau II.2. Différences induites par le mode de sollicitation imposé.....	20
Tableau III.1. Résultats de l'essai ES à 10%	29
Tableau III.2. Résultats de la masse volumique apparente.....	30
Tableau III.3. Résultats de la masse volumique absolue.....	30
Tableau III.4. Résultats de Micro-Deval des graviers.....	31
Tableau III.5. Résultats de Los Angeles des graviers.....	31
Tableau III.6. Analyses chimiques des gravies utilisées.....	32
Tableau IV.1. Fuseaux granulaires.....	33
Tableau IV.2. Teneur en liant adoptée de la formulation.....	35
Tableau IV.3. Résultats du quotient Marshall.....	36

Liste des symboles

E	Module de rigidité.
EME	Enrobé à module élevé.
ϵ	La sollicitation imposée (déformation imposée).
N	Nombre de cycles (la durée de vie correspondante).
A, B (α, β)	Les constantes de l'équation de la fatigue.
θ	Température en degré Celsius.
$\epsilon(\theta)$	La déformation appliquée à la température.
$\epsilon_6(\theta)$	La déformation correspondante à un million de cycles à la température.
ϵ_1	Déformation imposée correspondante la 1 ^{er} niveau de chargement.
ϵ_2	Déformation imposée correspondante la 2 ^{ème} niveau de chargement.
ϵ_3	Déformation imposée correspondante la 3 ^{ème} niveau de chargement.
M	La masse.
f	Proportion d'impuretés.
α	Coefficient correcteur.
MVRg	Masse volumique réel du gravier.
MVR	Masse volumique réel.
MVA	Masse volumique apparente.
F	Fréquence.
L	Distance.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La route est l'artère principale de l'économie nationale, elle assure la circulation des personnes et plus important l'économie. Ces dernières années, la croissance du camionnage a accru la pression sur les routes principales de notre réseau.

Par conséquent, il semble nécessaire d'approfondir les études sur les matériaux de revêtement (enrobé bitumineux), en particulier les mélanges bitumineux qui forment les chemins d'érosion de ces axes, qui sont fortement sollicités par un trafic intense (surcharge). Ces études devraient être axées sur la compréhension, à l'échelle de laboratoire et des fois sur site, les performances de mélanges bitumineux dans les chaussées, telles que la résistance à la corrosion, la résistance au retrait thermique, la résistance à la fatigue, ... etc.

Au laboratoire, nous étudions actuellement les performances de l'enrobé bitumineux pour le contrôler et fournir à tous les acteurs (direction, sociétés de conseil, entreprises, laboratoires, ...etc.) des études et des conceptions de ces routes basés sur des matériaux bitumineux qui composent la majorité des routes algériennes.

Ces enrobés bitumineux ont des comportements complexes dépendant des températures, et la vitesse de sollicitation ou trafic. Les principaux comportements sont viscoélastiques (VEL) définie par essai de module complexe, élasto-viscoplastique définie par l'essai d'orniérage. Mais globalement les chercheurs visent la fatigue comme le grand comportement étudié pour que leur corrélation avec la durabilité de ces routes (durée de vie).

Chaque commission de normalisation définit les essais et les conditions d'essai dépendent de la nature de la région qui lui appartient, généralement les conditions climatiques prennent une partie de ces conditions d'essai. Malheureusement ce n'est pas le cas de notre région, la normalisation algérienne propose les mêmes conditions européennes dans les essais de fatigue, et ce dernier peut rester valable dans les régions du nord de l'Algérie, mais les zones sahariennes comme le cas de wilaya de Ghardaïa et Ouargla, la température est assez élevée par rapport à la température d'essai 10°C.

Dans ce contexte, notre étude est une tâche particulière et notre région est exposée à des températures extrêmement élevées. Nous concentrerons sur les effets de la température sur le comportement de la fatigue et tenterons de comprendre leur impact sur les routes. Et dans l'axe de réaliser ce but, on a réalisé des essais de fatigue sur un béton bitumineux à des conditions thermiques différentes, la température d'essai (10°C) suivant la spécification européenne et deux autres températures qui représentent la température maximale et minimale de notre région, d'où on essaye de répondre à la

problématique : influence de la température sur la durée de vie correspondant les essais de fatigue au laboratoire ?

Ce sujet, discuté en six chapitres, se présente comme suit :

- Le chapitre1, présente des généralités sur les enrobés bitumineux, leur composition et plus un aperçu sur le climat des deux régions d'étude ; Ghardaïa et Ouargla.
- Chapitre 2, présente le phénomène de fatigue.
- Chapitre 3, présente les caractéristiques des matériaux.
- Chapitre 4, présente l'étude de formulation et caractérisation de l'enrobé.
- Chapitre 5, présente le dispositif expérimental.
- Chapitre 6, présente l'analyse des résultants.

Chapitre I

I. GÉNÉRALITÉS SUR LES ENROBÉS BITUMINEUX ET ETUDE DE FORMULATION

I.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons définir les enrobés bitumineux. Tout d'abord nous présentons brièvement quelques généralités sur l'enrobé bitumineux et ses composants (bitume et granulats) avec les caractéristiques appropriées de chacun d'eux. Ensuite, nous étudions la formulation de l'enrobé en considérant les paramètres suivants: la teneur du bitume, la dureté du bitume et la grosseur des granulats...qui ont des influences sur la compacité, la mise en œuvre et la durabilité..., ainsi que les principaux essais de caractérisation selon les normes pour obtenir un enrobé selon le choix désiré. [17].

I.2. DEFINITION DE L'ENROBÉ BITUMINEUX

L'enrobé bitumineux est un matériau composite constitué d'un mélange de granulats (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 [17].

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 [17].

I.2.1. Composition des enrobés bitumineux

Les enrobés bitumineux à deux composants principales pour formuler, le liant hydrocarbonés et les granulats.

-Liants hydrocarbonés

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

Le mot "liant" peut être défini comme substance qui sert à rassembler de façon durable, des particules généralement solides, l'adjectif "hydrocarboné" désigne l'assemblage d'atomes de carbone et d'hydrogène.

La substance additionnée aux particules solides développe au sein d'un mélange des forces d'adhésion et de cohésion, assurant une certaine rigidité et une résistance à la déformation en traction, une résistance à la compression et une résistance au cisaillement.

a) **Les liants naturels**, qui se trouvent dans la nature le plus souvent associés à des matières minérales, et qui sont utilisés depuis très longtemps. C'est la roche asphaltique qui se présente dans le gisement et qui après broyage donne *asphalte* ou bitume naturel.

b) **Les goudrons**, qui proviennent de la pyrogénéation, à l'abri de l'air, de matières d'origine végétal : houille, tourbe, bois, lignite...etc.

c) **Les bitumes**, qui sont obtenus par raffinage des pétroles bruts et des résidus pétroliers

Le bitume présente des propriétés complexes, soit sur le plan de sa composition chimique ou soit sur sa réponse aux sollicitations mécaniques. Il possède un grand pouvoir adhésif pour agglomérer. Les variations importantes de sa viscosité en fonction de la température permettent un mélange adéquat avec les granulats lors dans les différentes étapes de fabrication et de mise en œuvre de l'enrobé et par conséquent une bonne stabilité lors de l'exploitation de la chaussée, sous sollicitation mécaniques, thermiques et climatiques [17].

- Granulats

Les granulats utilisés dans les enrobés peuvent être divisés en deux grandes catégories : les granulats naturels en provenance de carrières, sablières et gravières et les granulats d'autres origines tels que des granulats recyclés, des sous-produits d'origine industrielle ou des granulats fabriqués pour un usage spécifique [2].

I.2.2. Rôles des granulats dans l'enrobé

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-granat, la maniabilité et la performance des enrobés bitumineux ; Certains phénomènes d'orniérage ou de désenrobage 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 [16].

I.2.3. Classification des granulats

Les granulats sont classifiés en différentes classes granulaires selon la taille des éléments. Une classe granulaire (d/D) est répertoriée par la taille du plus petit grain «d» et du plus gros grain «D» ; la taille est exprimée en millimètre. Il est admis qu'une fraction granulaire peut comporter jusqu'à 15% de matériaux excédentaires supérieurs.

On peut distinguer les classes granulaires suivantes :

- Les fines 0/D avec $D \leq 0,080$ mm ;
- Les sables 0/D avec $D \leq 6,6$ mm ;
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm ;
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm ;
- Les graves 0/D avec $6,3\text{mm} < D \leq 80$ mm ;

Le filler est constitué des éléments très fins, de diamètre inférieur à 63 microns. Il provient du dépoussiérage de granulats ou de production industrielle par mouture de roche, ces fillers a une surface spécifique très élevée et il absorbe une part importante du liant [4].

Le mélange du filler avec le liant constitue le mastic qui confère sa stabilité à l'enrobé, et l'épaisseur du film de mastic est caractérisée par un critère s'appelle le module de richesse.

La propreté du filler, en particulier sa faible teneur en argile, est primordiale afin de garantir un bon comportement mécanique [4]. L'arrangement des différentes classes granulaires forme la courbe granulométrique d'un mélange bitumineux [13].

I.3. CLASSIFICATION DES ENROBÉS BITUMINEUX

Les "Enrobés bitumineux" sont des matériaux résultant d'un mélange des granulats et d'un liant hydrocarboné. Le mélange liant – granulats obtenu est constitué de trois phases [19] :

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

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

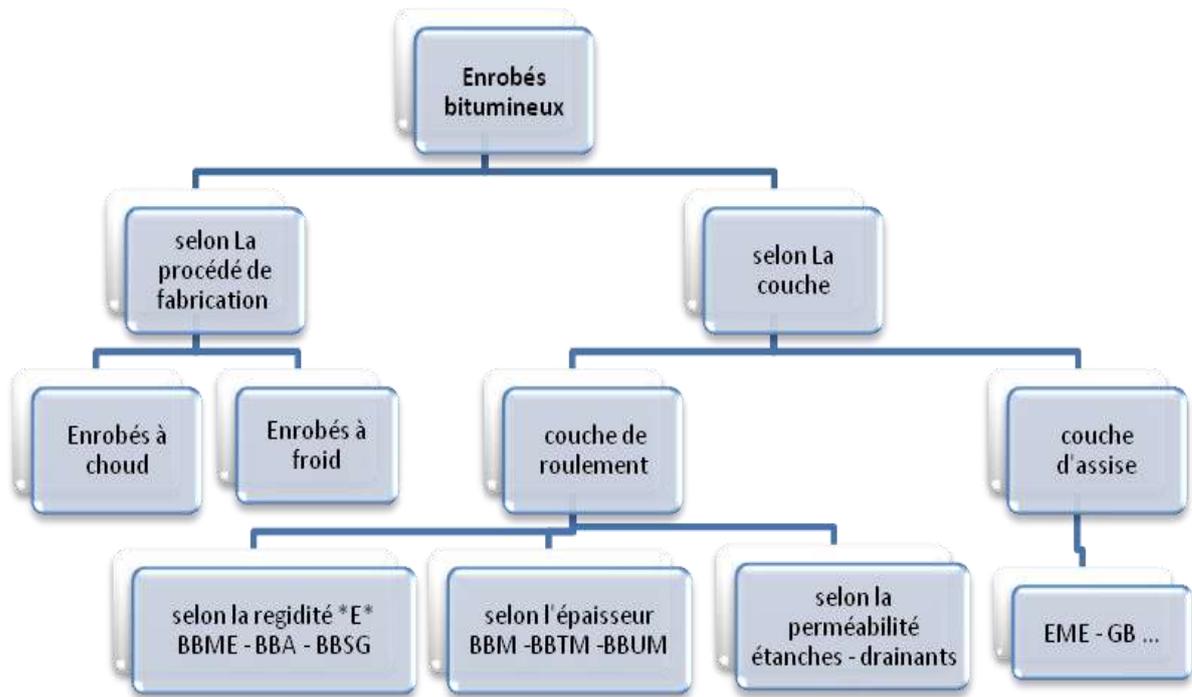


FIGURE I.1. Classification des enrobés bitumineux [12].

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

I.3.1. Béton bitumineux (BB)

Le béton bitumineux (BB) est un mélange à granularité continue se composant de gravillons, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels.

Les classes granulaires des bétons bitumineux retenues dans le présent cahier des charges sont les suivantes : BB 0/8, BB 0/12, BB 0/14 [4].

Leur domaine d'utilisation diriger vers :

- Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison des bonnes caractéristiques mécaniques. Il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement.
- Selon le type, il convient pour couche de roulement ou couche de liaison de routes, autoroutes et aéroports. Il est fabriqué, mis en œuvre et compacté à chaud [5].

I.3.2. Grave-Bitume (GB)

La grave-bitume (GB) est un mélange à granularité continue 0/20 se composant de granulats, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels.

Elle est appropriée pour couche de base de routes, autoroutes et aéroports. Elle est fabriquée, mise en œuvre et compactée à chaud et assure la portance de la chaussée et la répartition des charges du

trafic transmis par les couches de surface. Elle sert aussi à établir le profil souhaité de la chaussée respectivement comme couche de reprofilage [4].

Leur domaine d'utilisation diriger vers :

- La technique des graves bitumes est destinée à la réalisation des assises de chaussée (couche de base et couche de fondation).
- Réseau RP1 : Classes de trafic TPL3 à TPL7 [5].

I.3.3. Sable bitume (SB)

Le sable bitume est un mélange d'un ou plusieurs sables avec du bitume pur. Généralement, le mélange nécessite l'ajout de fines provenant soit des matériaux de concassage – broyage (sable fileries, fines calcaires), soit des pulvérulents industriels (chaux, ciment).

Le bitume utilisé doit être assez dur, de classe 40/50 ou 20/30 afin d'assurer une rigidité et une stabilité convenable [5].

Leur domaine d'utilisation c'est d'emploi en couche de base pour les chaussées du réseau principal de niveau 2, il aussi utilise comme couche anti remontée de fissures [5].

I.3.4. Bétons bitumineux à module élevé (BBME)

Le cas de notre étude, les BBME sont obtenus à partir d'un mélange de bitume pur ou modifié, de granulats fabriqués dans une centrale d'enrobage. Ils se caractérisent par un module de rigidité «E» plus élevé que les enrobés classiques et par une bonne tenue à l'orniérage [5].

Cet enrobé est destiné aux couches de roulement des routes nationales et régionales empruntées par un trafic moyen et dense.

Les BBME permettent une meilleure résistance à l'orniérage. Ils s'appliquent sur des épaisseurs de 5 à 7 cm pour les BBME 0/10 et 6 à 9 cm pour les BBME 0/14 [5].

I.3.5. Enrobé à module élevé (EME)

Ce mélange est destiné aux couches de liaison soumises à un trafic lourd (principalement pour diminuer l'orniérage) ; Ce sont des Enrobes préparés à partir d'un mélange de liant hydrocarboné, de granulats et/ou d'additifs minéraux ou organiques, dosés, chauffés et malaxés dans une installation appelée centrale d'enrobage. Ils sont destinés la réalisation des assises dans le cadre de travaux neuf sou de renforcement de chaussées.

Ils se caractérisent par un module de rigidité élevé atteignant 17000 MPa et une plus grande résistance à la fatigue que les enrobés classiques [10].

On distingue deux classes de performance classe 1 et classe 2. Les granularités utilisées sont 0/10,0/14 et 0/20 [11].

Chaque type d'EME comprend deux classes granulaires qui diffèrent entre elles notamment par leur teneur en liant et la dureté. On distingue [10]:

- **EME Classe 1** : correspond à des graves bitumes à module élevé obtenues par l'emploi d'un bitume dur, aux dosages voisins de ceux des graves bitumes (GB).
- **EME Classe 2** : correspond à un enrobé à module élevé comportant, de plus, un très bon comportement en fatigue, du fait du dosage élevé en bitume dur, généralement parlant de l'EME.

Les types des enrobes mentionnés au-dessus les plus connus et utilisés en Algérie, restent autres types d'enrobes tels que drainant, aéronautique...etc.

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 [18] :

- 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.5. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

Avant d'entamer le calcul d'une étude de formulation une mesure des différentes caractéristiques des composants (physique, mécanique et fabrication) est nécessaire au but de garantir la conformité par rapport aux spécifications des normes en vigueur.

Pour les premières compositions de liant bitumineux, doit vérifier par un ensemble d'essais, pour un bitume pur, on doit vérifier :

- Pénétrabilité ;
- Point de ramollissement (température bille – anneau) ;
- Essai RTFOT ;
- Fragilité FRASS ;

Et concernant les deuxièmes composants, squelette granulaire, on doit vérifier :

- Analyses granulométriques ;
- Masses volumiques absolues ;

- Assai Micro Deval en présence d'eau ;
- Essai de Los Angeles ;
- Essai d'Aplatissement.

Sur la base de ces essais et résultats, on peut entamer dans le calcul de la formulation ce qui compose deux étapes, détermination du mélange minéral, et calcul de teneur en liant.

I.6. ESSAIS SUR GACHET AU LABORATOIRE

Des mélanges préparés au laboratoire a différents dosages en liant (autour des dosages calculés), seront soumis aux différents essais au but de déterminer leurs performances mécaniques selon les quatre niveaux d'étude de formulation [15] :

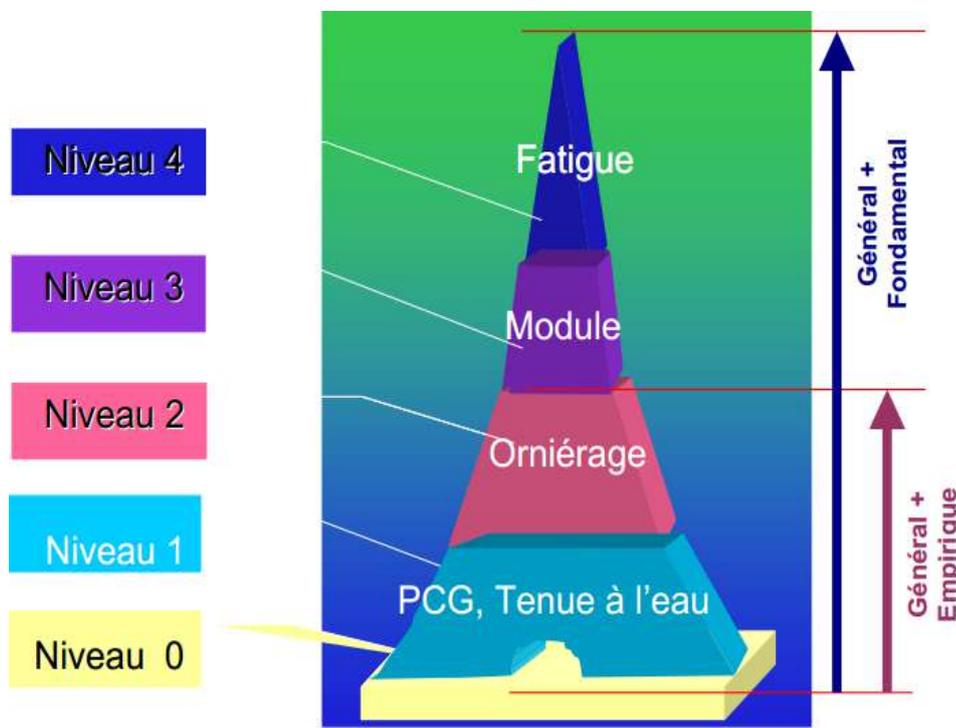


FIGURE I.2. Epreuve de formulation (Essai approche empirique et fondamental) [16].

I.7. APERCU SUR LA REGION GHARDAIA ET OUARGLA

I.7.1. La région d'Ouargla

Ouargla est une ville du centre de l'Algérie et le chef-lieu de la wilaya d'Ouargla à 128 mètres d'altitude, peuplée de 210 175 habitants (dont 133 024 pour la seule commune d'Ouargla). Ouargla est une des villes les plus riches d'Algérie et sa Wilaya constitue le pôle économique en réserve de gaz et de pétrole qui est contenue dans la ville de Hassi Messaoud. La superficie de la ville de Ouargla est considérable, 2 887 km². Elle est située au milieu du désert du Sahara et est connue pour la beauté de son sable rouge. Ouargla possède un climat désertique chaud (Classification de Köppen *BWh*).



FIGURE I.3. La région de la carte géographique de la wilaya d'Ouargla.

I.7.1.1. Diagramme Climatique de la région de la carte géographique de la wilaya d'Ouargla

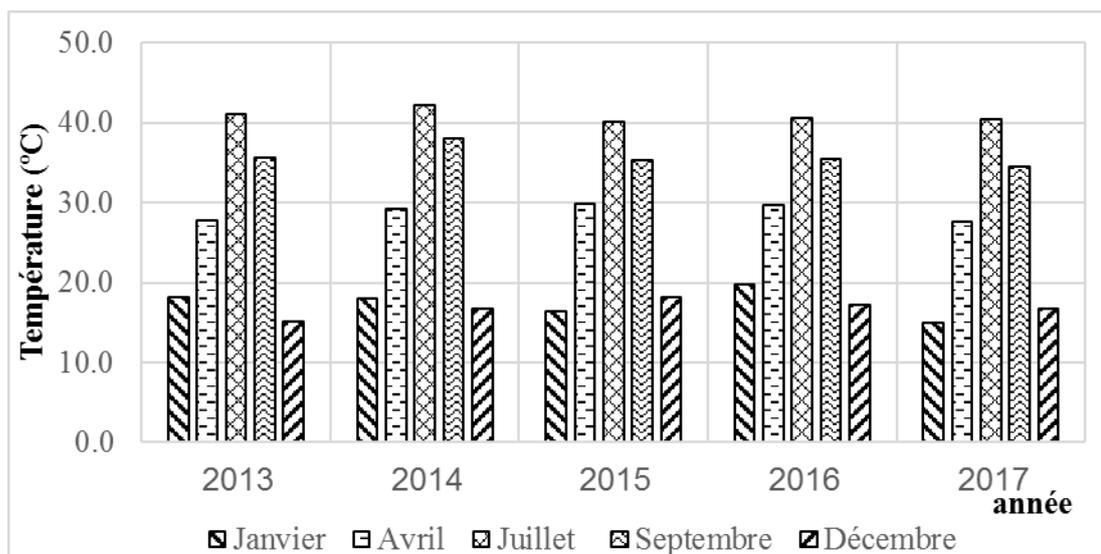


FIGURE I.4. Diagramme de température de la Région Ouargla.

Selon la figure I.4 représente les conditions thermiques de la région de Ouargla, les valeurs détaillées de condition climatographique présenté dans l'annexe A, et sur la base de ces valeurs on trouve:

- La plus haute température est 44.6 degré Celsius de mois juillet 2014.
- La plus basse température est 29.1 degré Celsius de mois Aout 2015.
- L'écart thermique maximale est 16.7 degré Celsius de moi mars 2013 et récemment 2017 l'écart maximum c'est 15.8°C.

I.7.2. La région de Ghardaïa

Ghardaïa est une commune de la wilaya de Ghardaïa en Algérie, dont elle est le chef-lieu, située à 600 km au sud d'Alger, elle est la capitale de la Vallée du Mzab. Ghardaïa et fait partie du patrimoine mondial elle est considérée comme site touristique d'importance majeure en Algérie, de par son architecture et son histoire.



FIGURE I.5. Le wilaya de Ghardaïa sur la carte de l'Algérie.

I.7.2.1. Diagramme Climatique Ghardaïa

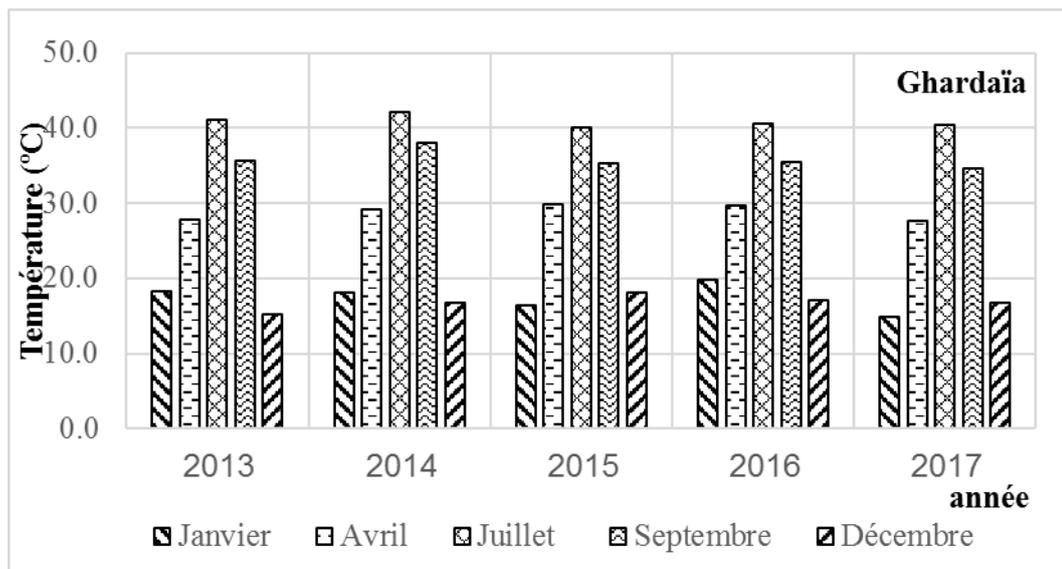


FIGURE I.6. Diagramme de La température de région Ghardaïa.

Selon la figure I.6 représente les conditions thermiques de la région de Ghardaïa, les valeurs détaillées de condition climatographique présenté dans l'annexe A, et sur la base de ces valeurs on trouve :

- La plus haute température est 42.2 degré Celsius de mois Aout 2014.
- La plus basse température est 29.0 degré Celsius de mois Aout 2014.
- L'écart thermique maximale est 13.9 degré Celsius de moi Avril 2016.

CONCLUSION

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

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

Le mélange bitume-agrégat obtenu doit avoir :

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

Concernant la région d'étude, les deux villes ont un comportement climatographiques similaires.

Chapitre II

II. LE PHÉNOMÈNE DE FATIGUE

II.1. INTRODUCTION

Les matériaux bitumineux sont employés principalement dans les couches de surface et d'assise. Ils subissent l'action conjuguée du trafic routier (agression mécanique) et du climat (température, gel). Ainsi l'agression mécanique des charges roulantes provoque des écrasements et des flexions dans la structure routière. Leur répétition est à l'origine des phénomènes [22] :

- D'orniérage (causé par les compressions successives des matériaux bitumineux, mais aussi par les déformations des couches non liées éventuelles) ;
- De fatigue par l'accumulation de micro-dégradations créées par les tractions transversales répétées qui peut entraîner la ruine du matériau ;
- De fissuration qui peut apparaître et se propager dans la chaussée.

La température a deux effets mécaniques principaux outre le vieillissement du matériau [22]:

- Changement de la rigidité (module) du matériau dû au caractère thermo-susceptible du mélange bitumineux et plus particulièrement du liant hydrocarboné ;
- Création de contraintes et déformations au sein du matériau en raison des dilatations – contractions thermiques qui peut provoquer et se propager des fissures avec les cycles thermiques, surtout à basse température.

II.2. FONCTIONNEMENT DE LA CHAUSSÉE

Comme nous avons mentionné précédemment, 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 II.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, engendrent des "micro" dégradations qui s'accumulent et peuvent entraîner la ruine du matériau par fatigue. Alors, la direction de contrainte qui nous intéresse, et 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). Ce point sera détaillé dans la Figure suivante :

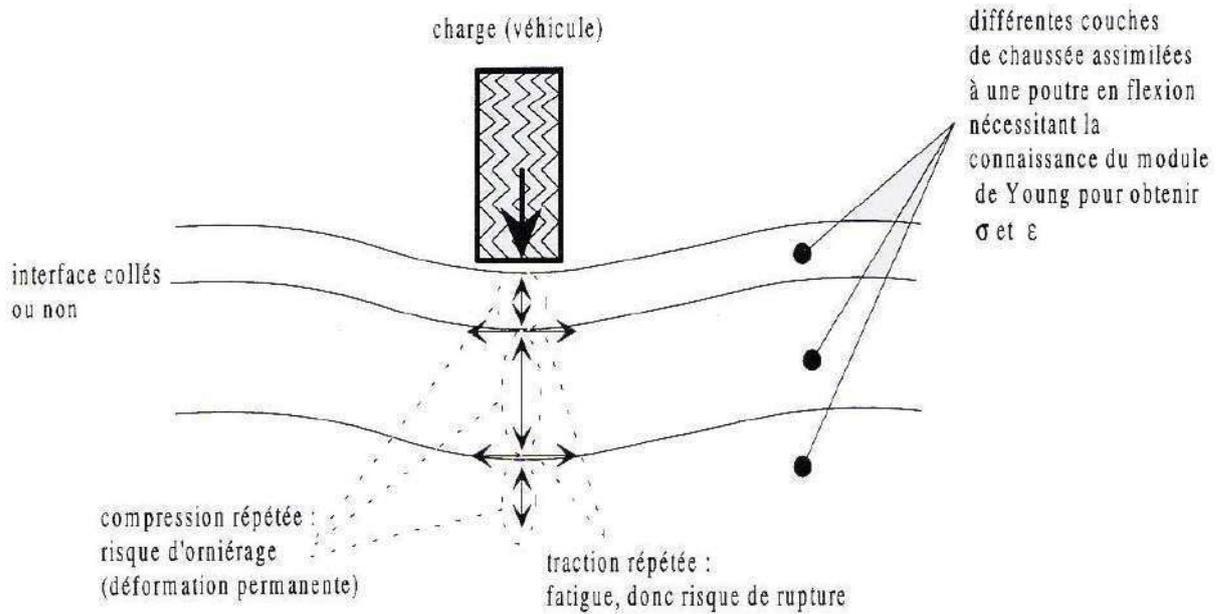


FIGURE II.1. Schématisation des sollicitations induites par le trafic [8].

L'allure des déformations longitudinales réelles à la base d'une couche de chaussée a été étudiée sur le manège du LCPC [7]. La Figure II.2 présente le principe de cette expérimentation.

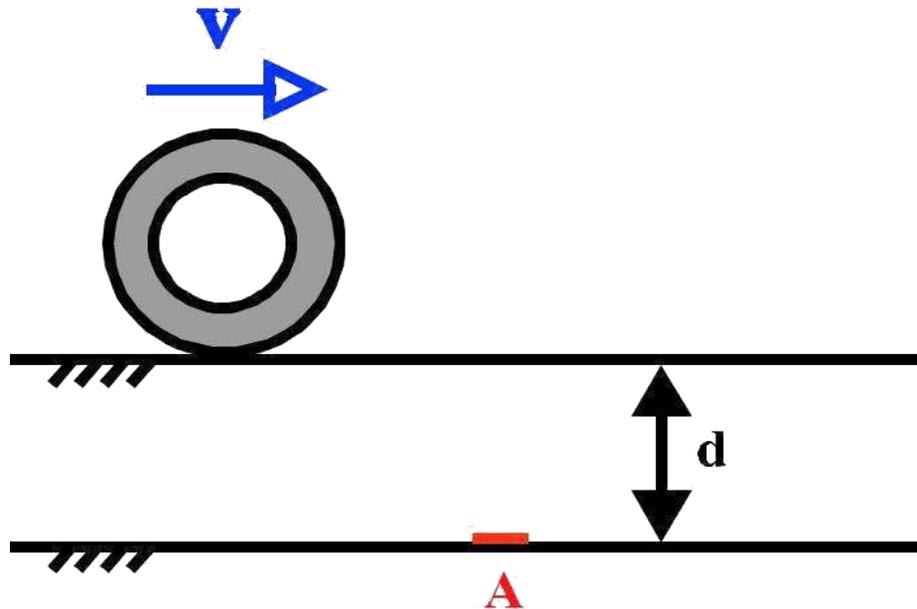


FIGURE II.2. Positionnement d'une jauge axiale à la base d'une chaussée (point A), à une profondeur d pour étudier les déformations dues au passage d'une roue à une vitesse V.

Le point « A » de la chaussée est sollicité lors du passage d'une charge, roulant à une vitesse constante V. ce point est situé à une profondeur « d » par rapport à la surface de la chaussée. Le signal correspondant à la déformation longitudinale (dans la direction de roulement) au point A est présenté dans la Figure II.3.

Lors de l'approche de la charge, ce point est soumis à une contraction puis à une extension quand la charge est suffisamment proche du point A. l'allure générale du signal obtenu (Figure II.4) est presque symétrique mais avec une plus faible amplitude pour la partie du signal qui présente la contraction lors de l'éloignement de la charge. Le caractère symétrique de cette courbe est d'autant plus marqué que la température est élevée [21].



PHOTO II.3. Machine de manège.

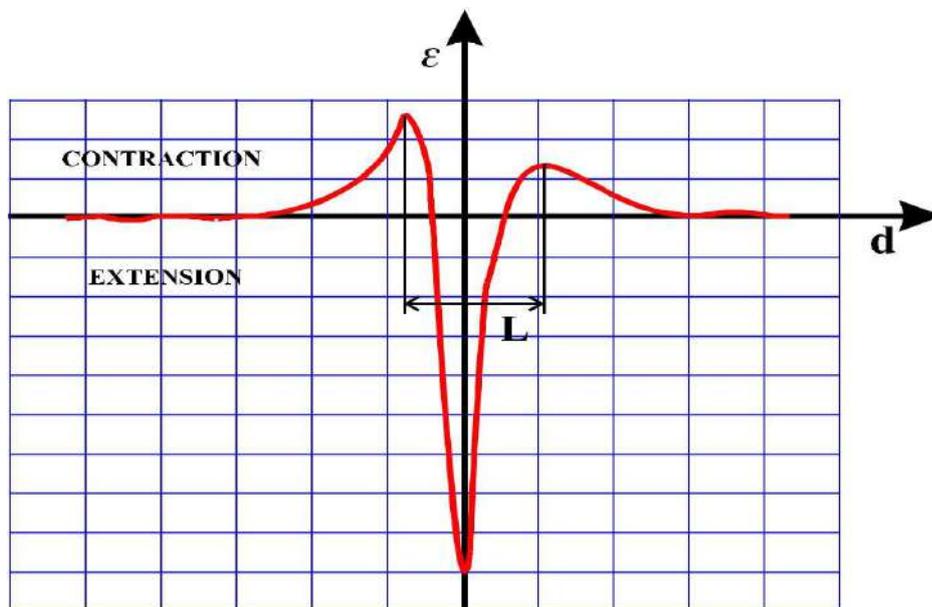


FIGURE II.4. Signal de déformation enregistré à la base de la chaussée (le point A de la Figure 2) lors du passage d'une roue à vitesse constante.

A chaque passage de roue, la chaussée subit donc un chargement du même type : "contraction – extension – contraction". C'est la répétition de ces sollicitations qui est à l'origine de la fatigue de la chaussée.

L'amplitude de la partie en extension du signal de sollicitation est environ trois à quatre fois plus grande que celle correspondant à la partie en contraction. En outre, la résistance de l'enrobé bitumineux en traction est beaucoup plus faible que sa résistance en compression. L'endommagement par fatigue des chaussées se fait donc principalement due au "traction par flexion".

La traction par flexion étant plus forte à la base de la chaussée, l'amorce de la fissure doit se déclencher théoriquement à cet endroit.

La forme de ce signal et le nombre de paramètres qui le définissent (variation de température, de la charge climatique, ...etc.) soulignent les difficultés de la reproduction du signal réel en laboratoire.

Le signal de la (FigureII.4) peut être utilisé pour déterminer la fréquence **F** de la sollicitation des essais de fatigue en laboratoire. Le calcul se fait à l'aide de la distance **L** entre les crêtes en contraction du signal, et du temps qu'a mis la roue pour parcourir cette distance.

Un exemple de résultats de fréquences obtenues est donné dans le tableau II.1, la fréquence est définie pour une vitesse de roulement et dépend de l'épaisseur de la couche de chaussée.

TABLEAU II.1. Fréquences de sollicitations en fonction de la vitesse de roulement [18].

Type de revêtement	V=36 km/h	V=90 km/h
Revêtement mince (< 4cm) L= 50 cm	T= 0.05 s F=20 Hzk8	T= 0.02 s F=50 Hz
Revêtement épais (10-14 cm) L=200 cm	T=0.2 s F= 5 Hz	T=0.08 F=12.5 Hz

II.3. PHENOMENE DE LA FATIGUE DES ENROBES BITUMINEUX

Selon le niveau de sollicitation et le nombre de cycles appliqués, l'enrobé présente trois types de comportement (FigureII.4) [11] :

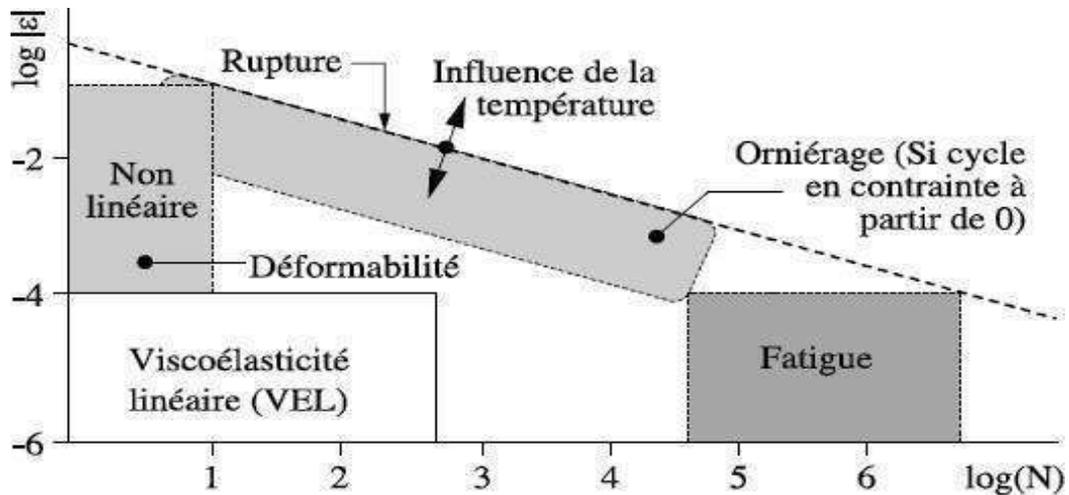


FIGURE II.5. Différents comportements des enrobés bitumineux [8].

- Pour un faible nombre de chargements et des déformations de quelques pourcents, l'essai est un essai de déformabilité et on observe un comportement fortement non-linéaire.
- Pour des chargements comprenant quelques centaines de cycles et des déformations faibles (10^{-4} cycles) le comportement est considéré, en première approximation, viscoélastique linéaire.
- Lors de chargement de plusieurs milliers de cycles et sous faibles déformations, des phénomènes d'endommagement apparaissent, le matériau se fatigue.

Les enrobés bitumineux sont soumis, sur la route, à des sollicitations de courte durée à chaque passage d'un véhicule lourd. Ainsi, la chaussée, qui se comporte comme un matériau rigide reposant sur un support déformable, est soumise à des efforts de flexion.

Des contraintes de traction apparaissent alors à la base de la chaussée et sont répétées à chaque passage de roues et vu que l'enrobé bitumineux résiste moins en traction qu'en compression, dans le cas de passage d'un grand nombre de véhicules, les fissures seront amorcées à la base de la chaussée due au phénomène de fatigue.

Dans la suite de notre étude bibliographique, après des généralités sur le phénomène de fatigue, nous allons décrire les approches existantes en laboratoire pour étudier ce phénomène, afin de trouver les avantages ainsi que les limites de chacun des essais [11].

II.3.1. Notations et définitions

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 cycles) dont l'amplitude est inférieure à la résistance à la rupture instantanée du matériau.

Ce phénomène est rencontré fréquemment dans de nombreux domaines industriels qui mettent en jeu des sollicitations cycliques [11] :

- Sollicitation par flexion alternée d'une pièce tournante (essieu).
- Sollicitation par vibrations (avions, ouvrages d'art).

Les premières études fondamentales du phénomène de fatigue en laboratoire ont été entreprises en 1852 par **WÖHLER** sur les métaux. A l'heure actuelle, ce sont les matériaux pour lesquels on dispose des connaissances les plus étendues sur ce sujet. Également, la fatigue des bétons, des matériaux routiers et plus généralement d'un grand nombre de matériaux composites ont fait l'objet de nombreuses études.

L'essai classique, permettant de caractériser le phénomène de fatigue consiste à soumettre une éprouvette de matériaux à étudier à des sollicitations répétées et à noter le nombre de cycles entraînant la rupture de l'éprouvette, appelé "**durée de vie**" [11].

La représentation classique des résultats de l'essai est la courbe de fatigue ou la courbe de **WÖHLER** (Figure II.5). Cette courbe fait correspondre une durée de vie à la sollicitation exercée, qui peut être une contrainte ou une déformation imposée.

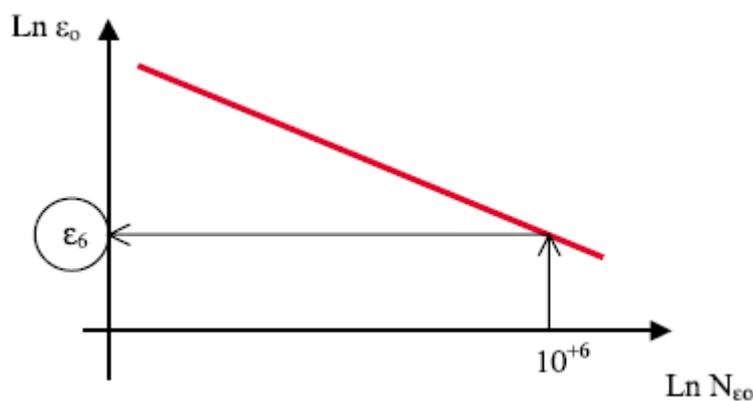


FIGURE II.6. Courbe de WÖHLER (droite Fatigue) [11].

La courbe de fatigue est présentée dans une échelle logarithmique ou semi-logarithmique. C'est l'axe du nombre de cycles ou la durée de vie qui est en logarithme puisqu'il couvre une plage importante pouvant aller de quelques milliers à plusieurs millions de cycles.

L'équation de la courbe obtenue est souvent considérée de la forme [11] :

$$\varepsilon = A.N^{-b}$$

Ou:

$$\log(\varepsilon) = \alpha - \beta.\log(N)$$

Avec :

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

N : la durée de vie correspondante ;

$A, B (\alpha, \beta)$: les constantes de l'équation.

II.3.2. Dispersion des durées de vie

Les études des essais de fatigue sur divers matériaux montrent qu'il existe une dispersion importante dans les résultats de durées de vie. Cela est dû à non homogène du matériau et au phénomène de fatigue lui-même.

Pour les métaux, la durée de vie peut varier dans un rapport de 1 à 10 pour des essais de fatigue réalisés sur des éprouvettes identiques [1]. Ce rapport peut atteindre 1 à 30 pour les matériaux bitumineux [20] et même 1 à 100 pour certains matériaux traités aux liants hydrauliques.

Il faut donc effectuer un grand nombre de répétitions pour obtenir un ensemble de valeurs de nombre de cycles représentatif du phénomène réel. En pratique, on effectue plusieurs répétitions pour un niveau de sollicitation donné.

II.3.3. Paramètres influençant le comportement en fatigue

La courbe d'un essai normalisé de fatigue sur enrobé permet de déterminer une loi de comportement de ce matériau. Elle exprime l'amplitude de sollicitation subie en fonction de la durée de vie. Cette loi de fatigue est utilisée pour déterminer la déformation admissible du matériau. Et par conséquent, le dimensionnement des couches de la structure de chaussée.

Dans ce paragraphe nous exposons une interprétation sommaire d'une courbe de fatigue type et les paramètres qui influent le comportement en fatigue de l'enrobé. Il est à noter, que l'essai normalisé comporte de nombreux biais qui posent un nombre de questions sur la pertinence de l'essai vis-à-vis des sollicitations réellement subies par la chaussée et leurs conditions d'application.

III.3.3.1. Effet du mode de sollicitation et critère de rupture

Pour les essai amplitude de déformation constante, le critère de durée de vie est arbitraire vis-à-vis de la rupture réelle de l'éprouvette. Par contre en mode de sollicitation à amplitude de force constante, les durées de vie définies par une rupture complète de l'éprouvette diffèrent peu de celles définies par la réduction de la moitié du module de rigidité de l'éprouvette [13].

De La Roche [3] a synthétisée les différences induites par les deux modes de sollicitation (Tableau II.2) :

TABLEAU II.2. Différences induites par le mode de sollicitation imposé [23].

	Essai à contrainte Imposée	Essai à déformation Imposée
Évolution pendant l'essai	Augmentation du déplacement	Diminution de la force
Critère de rupture	Rupture de l'éprouvette	Chute de moitié de la force (module de rigidité) initiale
Durée de vie	Plus faible	Plus grande
Dispersion	Plus faible	Plus grande
Augmentation de la température	Diminution de la durée de vie	Augmentation de la durée de vie
Augmentation du module de rigidité	Augmentation de la durée de vie	Diminution de la durée de vie

II.3.3.2. Effet de l'échauffement

L'évolution de la température interne de l'échantillon peut être complètement corrélée avec l'évolution de la force. Cette évolution est en relation aussi avec les propriétés intrinsèques du liant [24]. Elle permet de diviser la courbe en trois phases (Figure II.6) :

Des mesures de la température au sein du matériau, par thermographie infrarouge et son des ponctuelles, placées dans l'axe de l'éprouvette à 7 cm de la grande base (précision 0,2°C) [26], montrent l'augmentation de la température dans l'éprouvette durant la phase 1, suivie d'une stabilisation du régime thermique dans la phase 2, puis d'une localisation et une augmentation de l'échauffement dans la zone la plus sollicitée, conséquence de la concentration des contraintes autour des lèvres des macro-fissures. Une augmentation de 1°C de température par dissipation thermique dans une éprouvette peut

entraîner une diminution de raideur de 50% du fait de la thermo susceptibilité du matériau (diminution du module de rigidité avec la température).

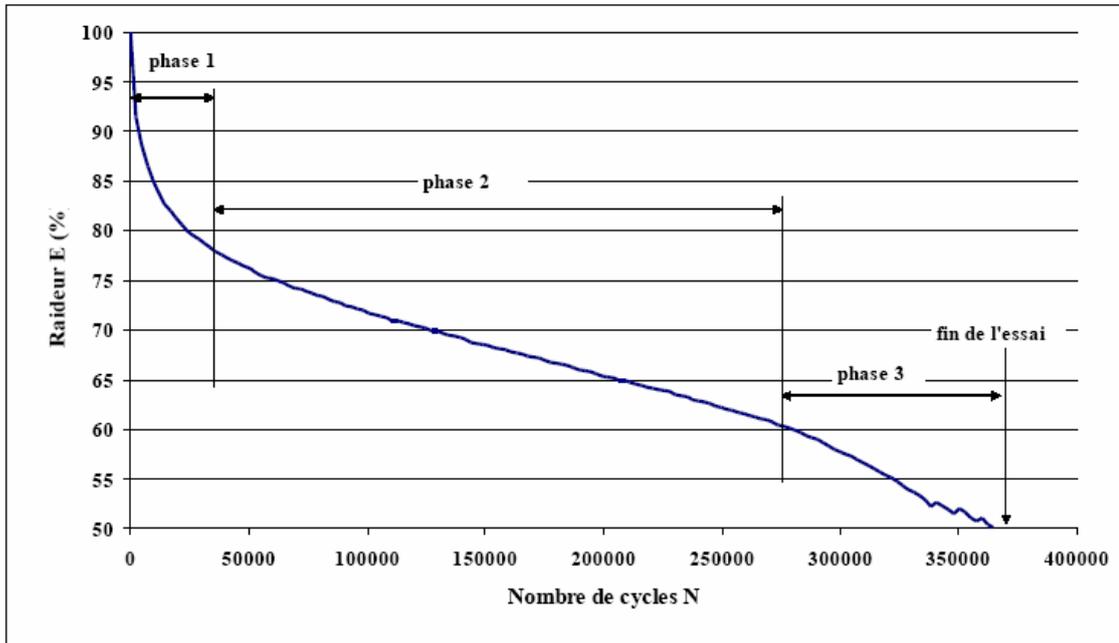


FIGURE II.7. Évolution de la raideur, lors d'un essai de fatigue par flexion deux points.

III.3.3.3. Effet de la température d'essai

La méthode française de dimensionnement considère une influence linéaire de la température sur le comportement en fatigue des enrobés bitumineux, dans le sens où une augmentation de température engendre une augmentation de la performance.

L'étude établie par [24], dans le cadre du SHRP, a mis en évidence que, pour les essais à déplacement imposé à des températures positives (0 à 25°C):

- La pente de la droite de fatigue augmente quand la température diminue.
- La durée de vie augmente avec la température selon la loi:

$$N_f = 10^{(k_1 + k_2 \theta)} \varepsilon_6^{(k_3 + k_4 \theta)}$$

Où N_f est la durée de vie en nombre de cycles, ε_6 l'amplitude de déformation en 10^6 , et θ la température en degré Celsius et K_1 à K_4 des coefficients déterminés expérimentalement.

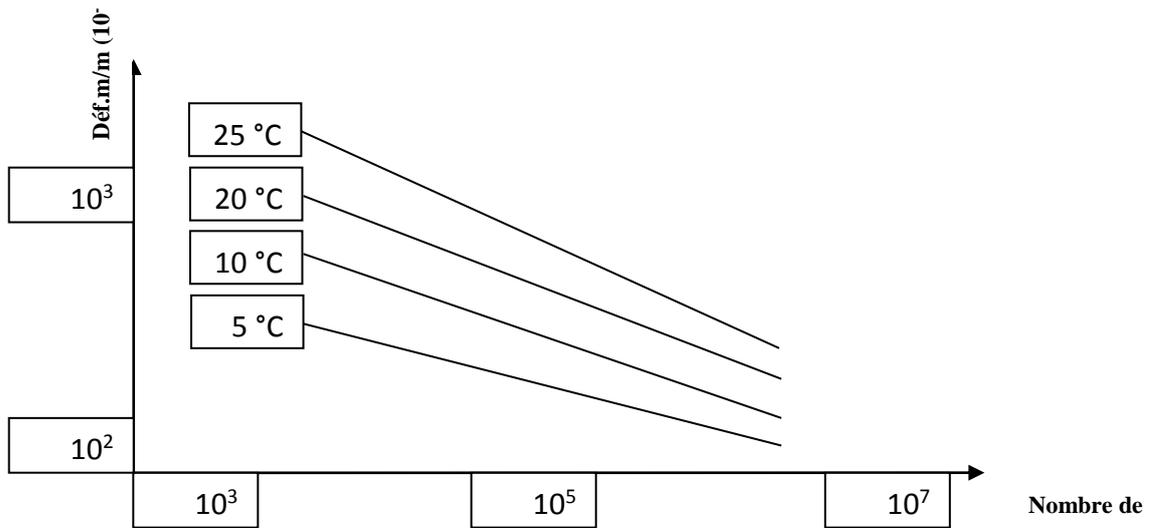


FIGURE II.8. Évolution des droites de fatigue à différentes températures en flexion 4 points à déformation imposée [24].

[19] avaient proposé des droites ayant quasiment la même pente dans un diagramme $\text{Log}(\varepsilon), \text{Log}(N_f)$. Elles peuvent être regroupées en adoptant une échelle réduite pour les déformations [25] :

$$\log \left(\frac{\varepsilon(\theta)}{\varepsilon_\varepsilon(\theta)} \right) = -b \log(N)$$

$\varepsilon(\theta)$: la déformation appliquée à la température θ .

$\varepsilon_\varepsilon(\theta)$: la déformation correspondante à un million de cycles.

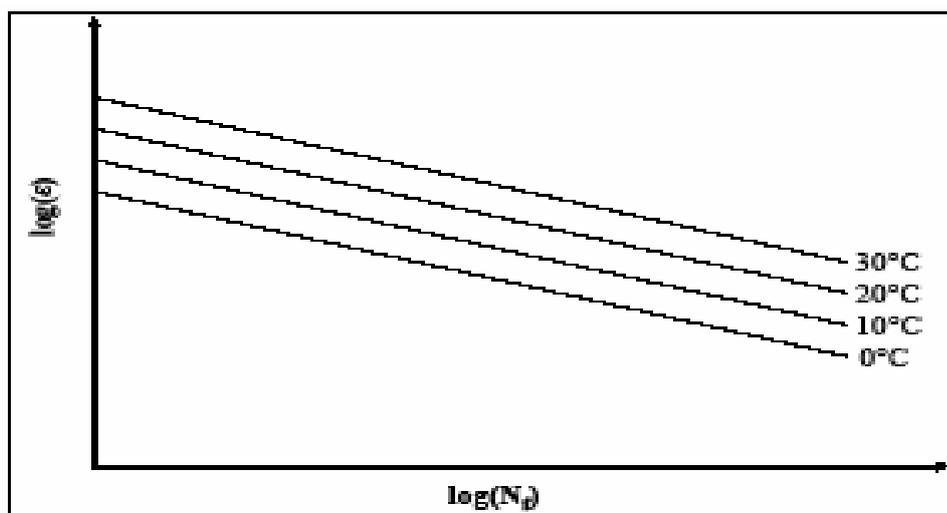


FIGURE II.9. Évolution des droites de fatigue pour différentes températures d'un enrobé bitumineux[18].

Des essais de fatigue effectués par Moutier en 1991 sur un grave bitume de granulométrie 0/14 à 5,4% de bitume, réalisées en flexion deux points sur éprouvettes trapézoïdales à déformation imposée, pour différentes températures allant de -10°C à 30°C [14], montrent aussi que la performance en fatigue est fonction de la température. Ils ont proposé une relation non linéaire entre ϵ_6 et la température de la forme :

$$\epsilon_6 = (1.21 - 0.008 \times \theta + 0.00148 \times \theta^2) 10^{-4}$$

Avec θ , température en °C.

Cette expression indique que le matériau testé passe par un minimum de performance en ϵ_6 pour une température θ autour de 3°C. Ainsi, si on fait des essais à des températures négatives, la relation entre la performance en fatigue et la température n'est pas une fonction linéaire monotone croissante comme précédemment.

Les résultats d'essais inter laboratoires RILEM, effectués en 1994 [14], sur la fatigue des enrobés en flexion quatre points à 0, 10 et 20°C, sur barreau prismatique confirment la tendance observée par Moutier sur la variation d' ϵ^6 avec la température. Une régression d'ordre 2 conduit à un minimum assez plat autour de $\theta = 6^\circ\text{C}$. Cette variation est due à la variation du module de rigidité avec la température.

Lorsque la température augmente, le module diminue. Aux essais de déplacement imposé, la force initiale est plus faible, dans ces cas induits une augmentation de la durée de vie.

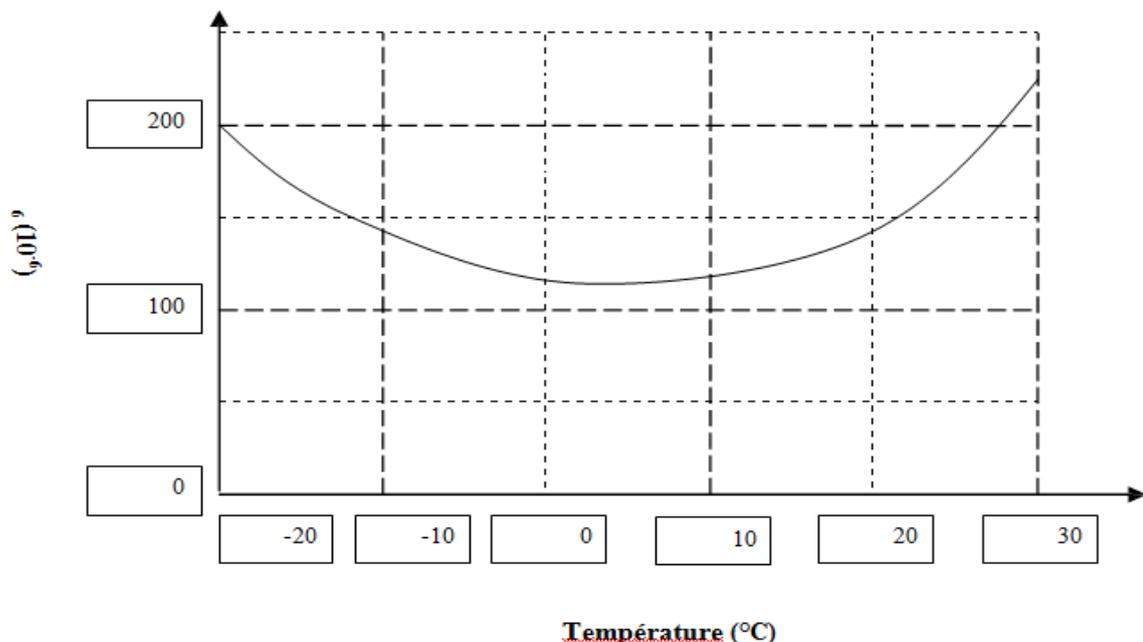


FIGURE II .10. Variation d' ϵ_6 avec la température à 25 Hz, d'après moutier [14]

II.4. APPROCHES EXPERIMENTALES

Afin d'étudier le comportement à la fatigue des enrobés, divers essais ont été pratiqués. Parmi lesquels, nous distinguons les essais de simulation du comportement mécanique et les essais de simulation routière (modèles réduits). Les essais de simulation du comportement mécanique visent directement le comportement des chaussées à la fatigue et utilisent plus de simulation surtout au niveau des sollicitations. Les essais de simulation routière sont des essais empiriques. Ils font une copie, petite ou grande, de la route et demande donc moins de modélisation.

Nous présentons dans la suite les différents essais de simulation du comportement mécanique utilisé au laboratoire pour étudier la fatigue des enrobés bitumineux.

III.4.1. Essai 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 encadrée à sa grande base et sollicitée à son sommet (Figure II.11). 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.

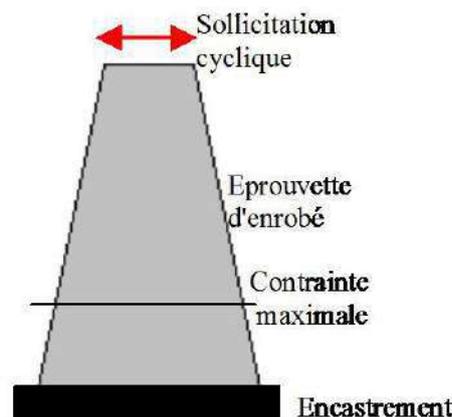


FIGURE II.11. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 2 points

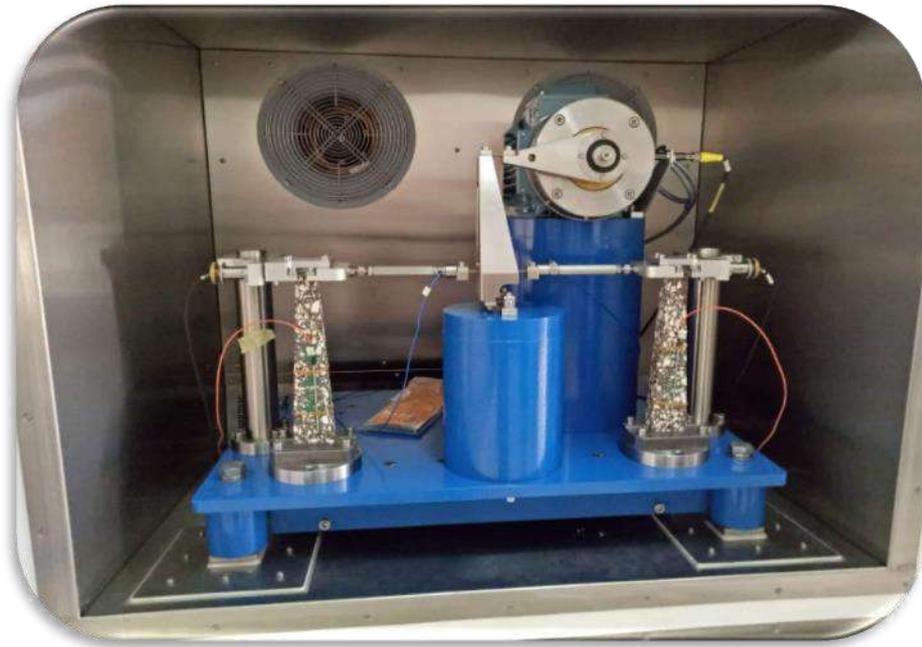


PHOTO II.1. Appareil de l'essai de flexion à 2 points

II.4.2. Essai flexion à 3 points

L'éprouvette est une poutre qui se repose sur deux appuis simples (Figure II.13). 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.

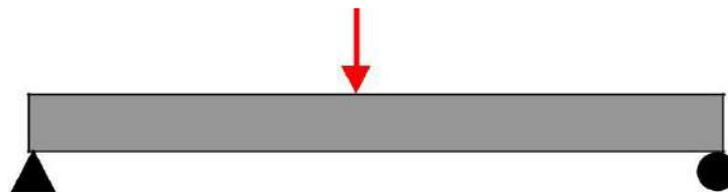


FIGURE II.12. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 3 points.

II.4.3. Essai de flexion à 4 points

Cet essai est largement utilisé aux États-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 II.14). En absence d'effort tranchant entre ces deux points, on peut profiter d'une zone assez longue sous moment uniforme.

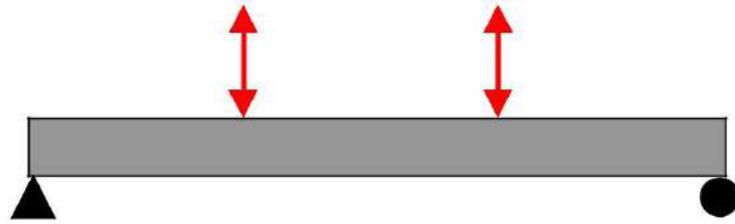


FIGURE II.13. Schématisation de l'éprouvette et de la sollicitation dans l'essai flexion 4 points.

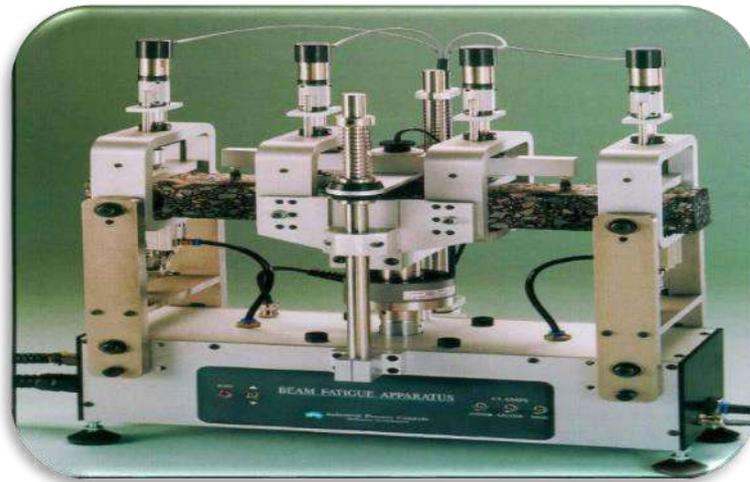


PHOTO II.3. Appareil de l'essai de flexion quatre points (DWW – Pays Bas).

II.5. CONCLUSION

Les chercheurs ayant travaillé sur les phénomènes d'évolution dans le temps de la performance des matériaux bitumineux, sous l'effet des sollicitations extrêmes, qu'elles soient d'origine thermique ou mécanique, se rejoignent sur un point commun : l'intensité et la forme de la sollicitation ont un rôle endommageant important sur la résistance et la durabilité des enrobés bitumineux.

Les analyses de la littérature ont souvent porté sur l'étude de la performance de ces matériaux sans tenir compte de leur histoire thermique, ou sur l'allongement de la durée de vie

En utilisant certaines modifications du liant ou en introduisant d'autres granulats de renforcement. Des études ont été réalisées pour évaluer l'effet des hautes températures (oxydation, vieillissement, durcissement, orniérage et déformation permanente, ...etc.) et le rôle des basses températures (gel, fragilité, fissuration thermique, ...etc.).

Les analyses de durée de vie reposent le plus souvent sur l'emploi de sollicitations traditionnelles (typiquement sinusoïdales), qui représentent mal les conditions réelles de trafic (nouveau type des essieux, nouveau type des avions et des fois aussi des poids lourds), et leur application sur l'Algérie avec des conditions thermiques suivre les normes européennes représente mal le climat spécialement le sud algérien.

Chapitre III

III. CARACTERISATION DES MATERIAUX

III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux utilisés dans le cadre de cette étude et leurs caractéristiques physico-mécaniques et chimiques.

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

- Gravier de classe 0/3 de la région d'Ain Toûta (Batna);
- Gravier de classe 3/8 de la région d'Ain Toûta (Batna);
- Gravier de classe 8/15 de la région d'Ain Toûta (Batna);
- Liant bitumineux pur provenant de l'entreprise Naftal à (Ghardaïa);
- La chaux de la région de Souk Ahras;

III.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

III.2.1. Granulats

III.2.1.1. Graviers

a) Analyses granulométriques

Nous avons testé les deux classes de gravier, 3/8 et 8/15 de la carrière d'Ain Toûta de Batna, et ci-dessous on présente les courbes granulaires des deux classes.

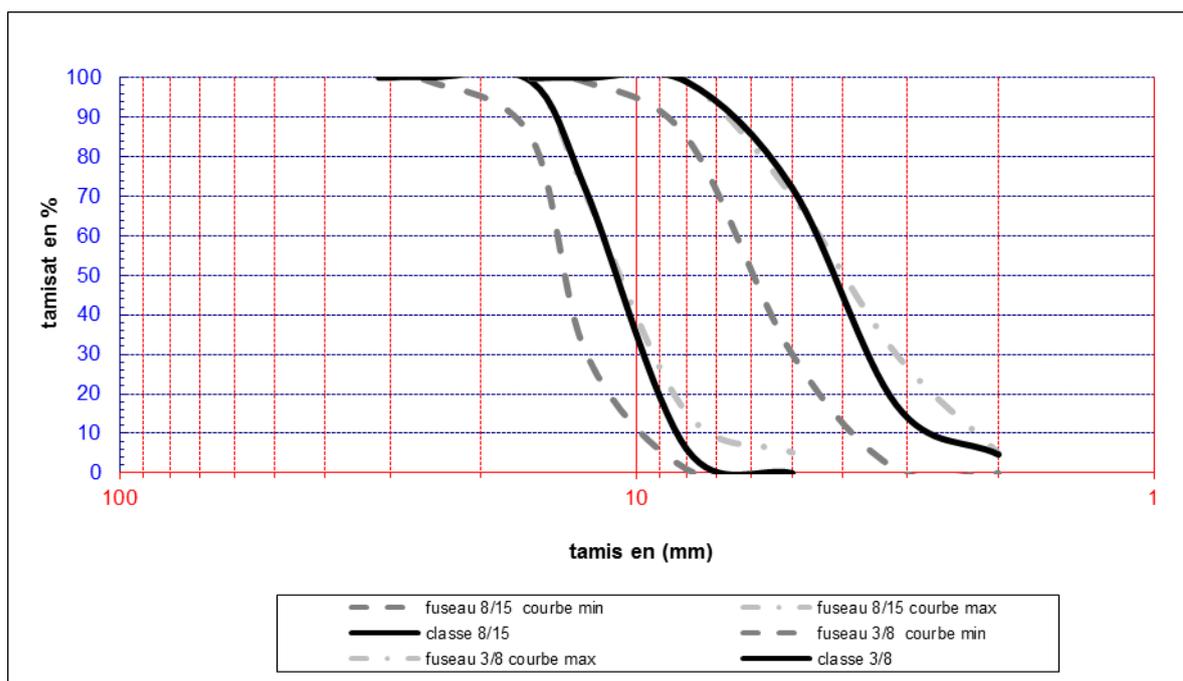


FIGURE III.1. Courbes granulométriques des graviers 3/8 et 8/15 utilisés.

Nous avons également testé la classe de sable concassé 0/3 de la même source mentionné précédemment, en figure III.2, on présente la courbe granulométrique de cette classe.

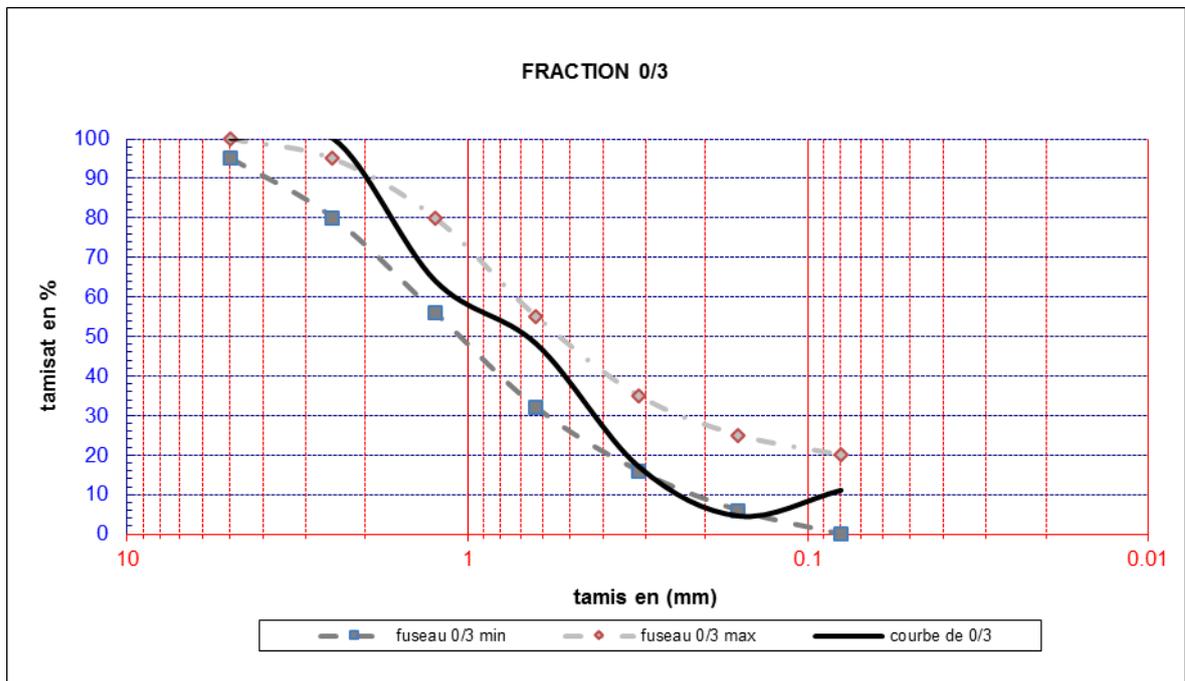


FIGURE III.2. Courbes granulométriques du gravier 0/3 utilisé.



PHOTO III.1. Équipements pour analyse granulométrique.

b) Équivalente de sable (ES à 10 %)

L'essai «équivalente de sable» est l'un des essais révélant le pourcentage d'impuretés organiques dans le sol, c'est-à-dire le pourcentage de propreté, afin de déterminer si ces quantités sont nocives pour les installations en béton et la présence de ces matières organiques dans le sable utilisé dans le béton. Dans la classification du sol.



PHOTO III.2. Essaie ES à10%.

$$ES \text{ a } 10 \% = M = 120 - \left(\frac{1200}{f} \right)$$

TABLEAU III.1. Résultats de l'essai ES à10%.

Classe	ES a 10 %	Spécification%
0/3	69.8	≥45

c) Masse volumique

- Masse volumique apparente

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube en matériau pris en charge, comprenant une fois les vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre les particules.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

TABLEAU III.2. Résultats de la masse volumique apparente.

Classe	0/3	3/8	8/15
M.V. apparente (g/cm ³)	1.563	1.506	1.46

- Masse volumique absolue

La masse volumique absolue c'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.

TABLEAU III.3 Résultats de la masse volumique absolue.

Classe	0/3	3/8	8/15
M.V. absolue (g/cm ³)	2.557	2.558	2.550

d) 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.



1) appareille micro Deval 2) bille et granulats

PHOTO III.3. La machine de micro-Deval.

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

TABLEAU III.4. Résultats de Micro – Deval des graviers.

Classe des graviers	3/8	8/15	Spécifications
MDE (%)	10	11.2	≤ 20

e) Essai Los Angeles (NF P 18-573)

Cet essai permet de déterminer la résistance aux chocs des granulats. Il simule les chocs des roues des véhicules sur une route. L'essai consiste à introduire des gravillons dans le cylindre de la machine Los Angeles.

Lors de sa rotation, les granulats sont heurtés par des boulets plus lourds que les gravillons. La masse des éléments inférieurs à 1,6mm à la fin de l'essai donne la résistance aux chocs du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant aux chocs.



1) Boules de L.A – 2) Appareilles L.A – 3) Agrégats

PHOTO III.4. La machine de los Angeles.

TABLEAU III.5. Résultats de los Angeles des graviers.

Classe de gravier	3/8	8/15	Spécifications
LOS ANGELES (%)	20	25	≤ 25

f) Analyses chimiques sommaires (NF 15-461)

L'analyse chimique des granulats consiste à déterminer le taux des composants suivants :

- Les Insolubles ;
- Les Carbonates CaCO_3 ;
- Les sulfates CaSO_4 .

Ces essais sont effectués afin de vérifier l'efficacité et la compatibilité de ces granulats entre eux et le liant utilisé. Le tableau suivant donne les pourcentages des différents composants chimiques des agrégats utilisés.

TABLEAU III.6. Analyses chimiques des gravies utilisés.

Composants	Pourcentage (%)		
	0/3	3/8	8/15
Insolubles (%)	0.056	0.033	0.027
Sulfate (%)	0.17	0.21	0.18
Carbonates (%)	86	88	90

Les trois composants, provenant de même source, et présente la même composition chimique, une domination de calcaire, et un pourcentage de sulfate faible, avec de traces des matériaux non solubles dans l'eau.

Chapitre IV

IV. ETUDE DE FORMULATION ET CARACTERISATION DE L'ENROBÉ

IV.1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente la méthode de calcul et les expériences au but de déterminer et de choisir la proportion optimale de l'enrobé d'étude (béton bitumineux semi grenu 0/14). Cette méthode s'appelle "module de richesse" elle se compose de deux parties :

- Composition granulaire déterminée vise avis d'un fuseau de référence ;
- Le teneur en liant calculée par un module k qui exprime l'épaisseur de film de bitume enrobent les agrégats.

IV.2. ETUDE DE FORMULATION

a) Composition granulaire

Plusieurs compositions ont été utilisées et le rapport de chaque composant a été déterminé en fonction des limites de la distribution granulaire du mélange.

TABLEAU IV.1. Fuseaux granulaires

<i>Tamis</i> (mm)	Béton Bitumineux 0/14		
	min	moy	max
14	94	97	100
10	72	78	84
6.3	50	58	66
2	28	34	40
0.08	7	8.5	10

On a obtenu la courbe granulométrique du mélange (Figure IV.1) qui donne la composition optimale des granulats en (Figure IV.2)

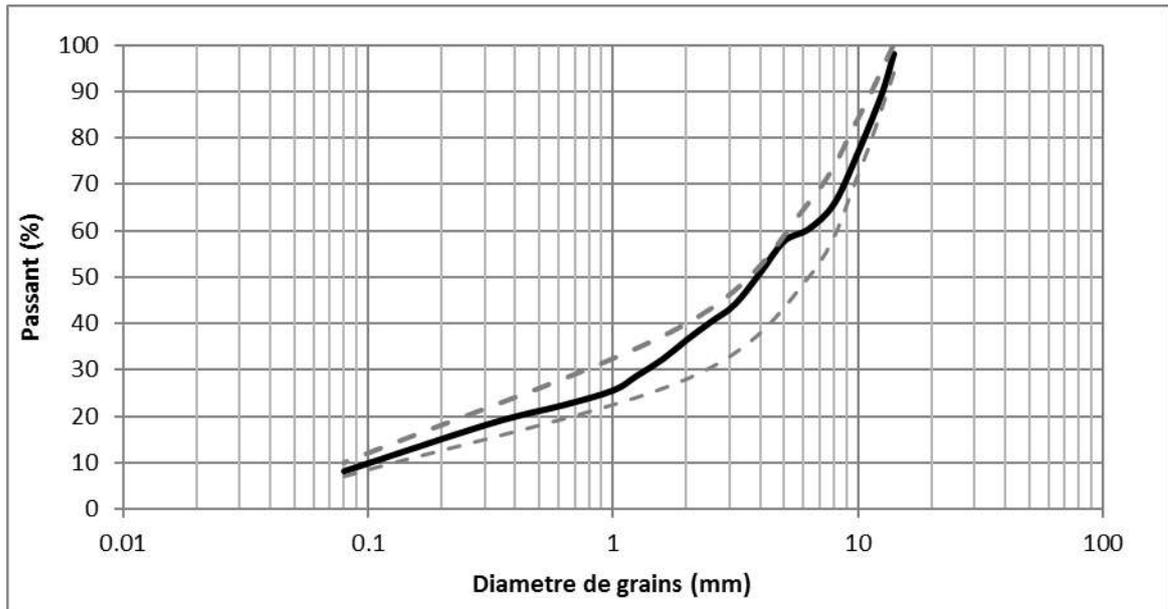


FIGURE IV.1. Composition granulométrique du mélange.

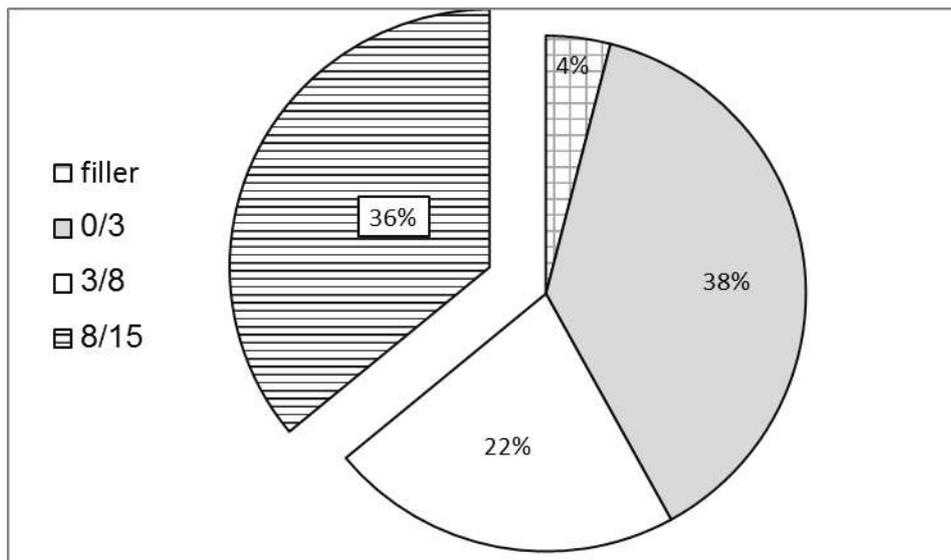


FIGURE IV.2. Répartition granulaire du mélange.

b) La teneur en liant

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

- **Surface Spécifique des Agrégats Σ :**

$$0.25G + 2.3S + 12s + 135f = 13.403m^2/kg$$

- **Coefficient Correcteur α :**

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

$$MVRg = 2.640 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow \alpha = 1.004$$

TABLEAU IV.2. Teneur en liant adopté

Module de richesse	3.44	3.67
Coefficient correcteur	1.004	
Surface Spécifique (m^2/kg)	13.403	
Teneur en liant (%)	5.8	6.1
Masse Volumique réel (g/cm^3)	2.434	2.422

IV.3. PERFORMANCES DU MELANGE

On a obtenu l'essai Marshall comme un essai de référence pour caractériser les performances de nos propositions. L'essai Marshall est une méthode de détermination de la teneur en vide et des caractéristiques mécaniques d'un enrobé bitumineux. Le procédé a été mis au point par Bruce Marshall en 1939.

Plusieurs normes encadrent le procédé a ce telle que la norme européenne EN 12697-34 utilisée dans ce projet d'étude. La méthode consiste que l'échantillon est compacté puis plongé dans un bain-marie à 60 °C pendant 40 minutes, puis dans une presse Marshall. Les deux mâchoires d'écrasement de la presse appliquent une contrainte de compression diamétrale avec une vitesse de 50 mm/min jusqu'à destruction de l'échantillon.

Au cours de l'essai, la force appliquée et la résultante de la déformation sont enregistrées. En pratique, c'est la résistance maximale de l'éprouvette à la déformation qui est mesurée en kN et la valeur de l'affaissement selon le diamètre vertical de l'échantillon au moment de la rupture en mm.

L'essai Marshall ne donne pas d'indications sur la résistance aux déformations d'un revêtement mais sert de contrôle de la régularité d'une production de revêtement bitumineux.



PHOTO IV.1. Appareillage et essai Marshall.

IV.4. RESULTANTE DE MELANGE

Dans le tableau IV.3 on donne les différents résultats des compositions étudiées :

TABLEAU IV.3. Résultats Marshall obtenus.

	5.8	6.1	spécification
Stabilité Marshall (kN)	17.277	16.316	≥ 10.5
Fluage (mm)	3.416	3.501	≤ 4
Quotient Marshall (kN/mm)	5.067	4.683	

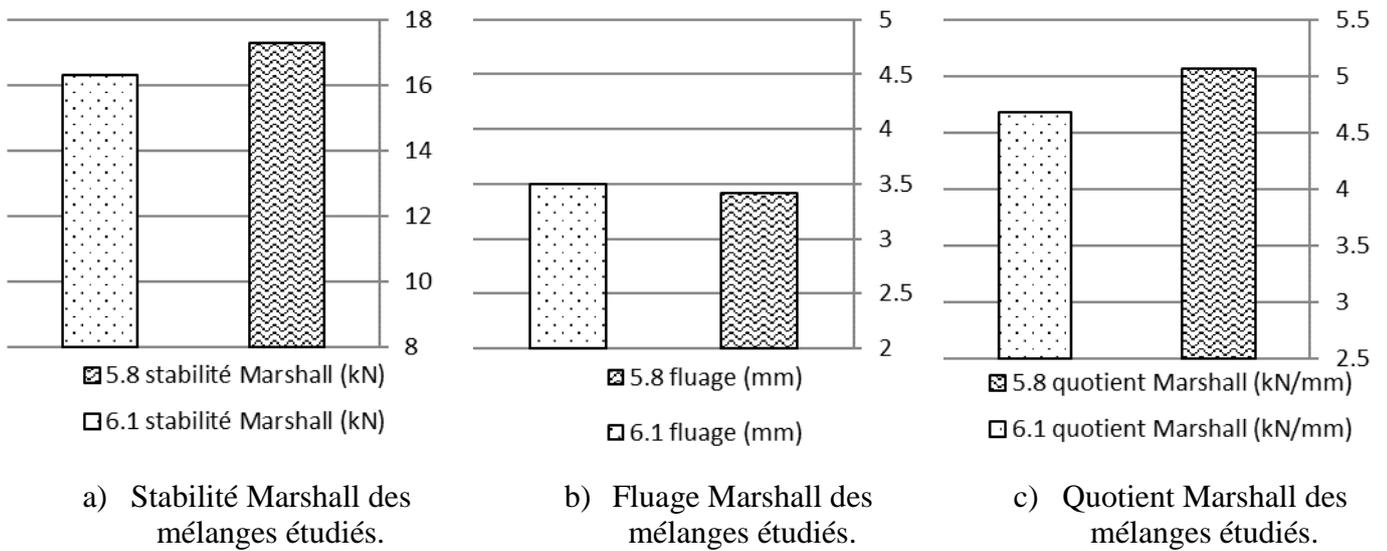


FIGURE IV.3. Illustration des résultats Marshall.

Chapitre V

V. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

V.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes étapes pratiques que nous avons suivies pour mettre en œuvre notre sujet de recherche.

Après tous nos tests précédents, nous avons pu trouver la formule parfaite afin d'obtenir la bonne combinaison pour continuer vers l'objet de ce projet de recherche.

V.2. PREPARATION DES MELANGES

Les mélanges sont préparés suivant les indications et recommandations de la norme EN 12697-35 concernant le malaxage des mélanges bitumineux, le liant été chauffé à une température de 160 °C et les agrégats à 180 °C.

Le mélange est composé de:

- 4% de filler.
- 38 % de classe 0/3.
- 22% de classe 3/8.
- 36% de classe 8/15.
- 5.8% de bitume.

Ci-dessous des photos présentant les différents matériaux utilisés avant malaxage:

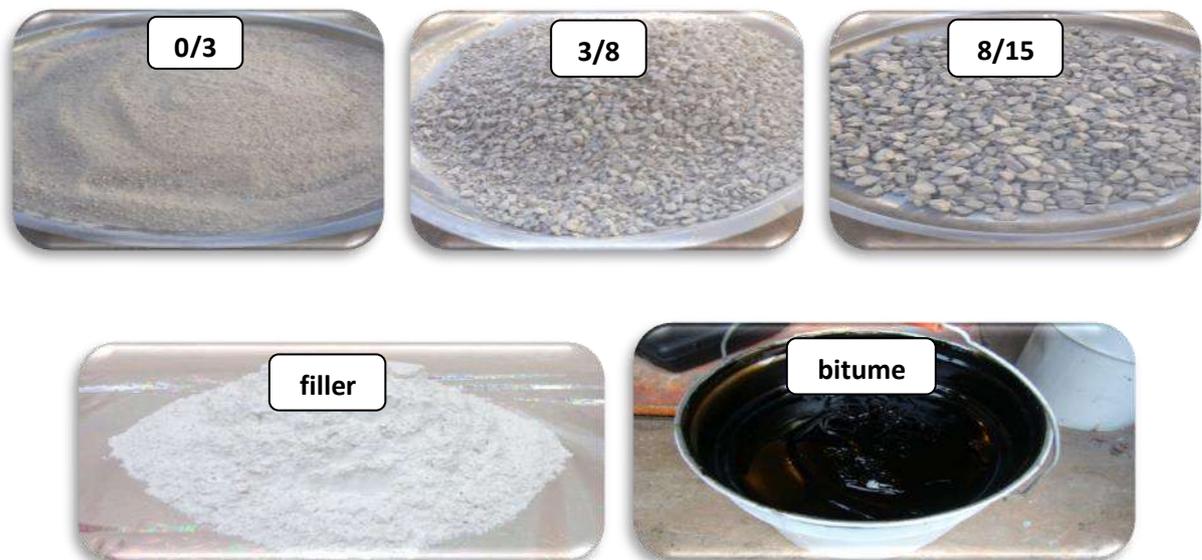


PHOTO V.1. Images des ingrédients du mélange.

La quantité requise de toutes ces préparations est préparée pour être mélangée dans un mélangeur de 140 kg (Mélangeur de grand capacité).



PHOTO V.2. Etapes de préparation des mélanges au niveau de laboratoire.

V.3. PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Le compactage des plaques est la méthode en laboratoire qui se rapproche le plus du compactage sur site. L'appareil peut être configuré pour opérer avec une roue unique ou deux roues selon la taille du moule. Les roues se déplacent sur la surface en suivant des pistes de roue se chevauchant et en utilisant les séquences spécifiées dans EN 12697-33 ou en utilisant des séquences spéciales définies par l'utilisateur.

La base du moule est montée par incrément à l'aide d'un système de levage de précision et le système est suivi afin de le garder de niveau avec le haut du moule. Les plaques compactées peuvent avoir une épaisseur de 50 à 150 mm.

Les plaques de 500 x 180 mm sont normalement utilisées dans l'orniéreur grand modèle alors que les plaques de 600 x 400 mm sont généralement coupées en éprouvettes prismatiques ou trapézoïdales pour les essais de fatigue, de module et l'essai Duriez.



PHOTO V.3. Compacteur de plaque à roue EN 12697-33/NA 5369.

a – Préparation de la plaque d'enrobé

Dans la conception de nos travaux, nous produisons d'après 81 kg du mélange préparés préalablement des moules de 600×400×150 mm à l'aide d'une machine appelée le compacteur de plaque, qui consiste à exécuter un compactage au moyen de deux roues lourds avec 1 bar au début et 6 bars après certaines étapes. Puis le-laissez pendant 24 heures.



PHOTO V.4. Préparation du moule d'asphalt.

b- Préparation des échantillons trapézoïdaux

Découpez le moule après 24 heures pour obtenir des formes trapézoïdales. Le processus de découpe donne 44 éprouvettes, suivies d'un processus de sélection basé sur les dimensions et le pourcentage du vide et de la densité, qui déclarent que les éprouvettes sont les plus appropriés pour les tests.

Nous avons sélectionné 20 éprouvettes divisées en quatre groupes (6 éprouvettes par 3 groupe et 2 éprouvettes de quatrième groupe), chacune soumise à une condition d'essai spécifique tenant compte de la température proposée dans notre étude.

Après 24 heures depuis la préparation de la dalle d'enrobé et la conservation à la température ambiante, elle est découpée à la scie (Figure IV.4), conformément aux profils indiqués dans la norme EN 12697-33, comme indiqué précédemment, pour la formulation d'échantillons présentant une forme trapézoïdale à la base de 56 mm, une tête de 25 mm, une hauteur de 250 mm et une épaisseur de 25 mm avec une tolérance de ± 1 mm.



PHOTO V.5. Etapes de formulation de éprouvettes trapézoïdales.

V.4. COMMENT DIVISER LES ECHANTILLONS EN GROUPES

Les groupes sont divisés par échantillonnage, à condition que chaque groupe soit approximé en termes de longueur et de largeur ± 1 mm et que le écart-type dans la masse du groupe $\pm 1\%$ et que écart-type dans le pourcentage d'espaces pour le groupe soit égal à $\pm 0,7\%$.

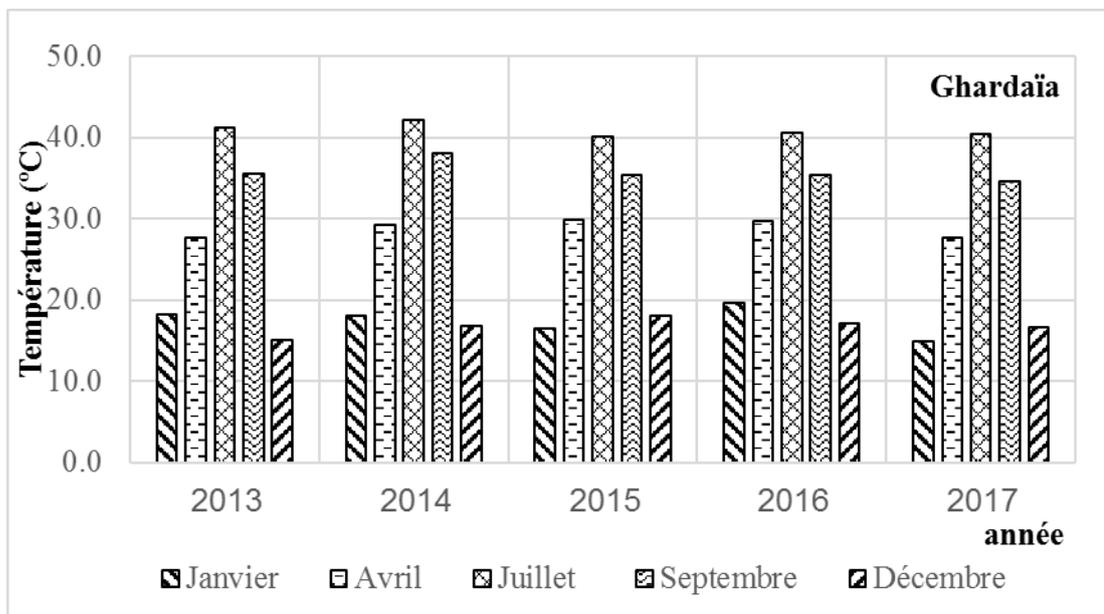
Après 15 jours de conservation des groupes des éprouvettes sélectionné à la température ambiante, chaque deux éprouvettes ont été teste pour déterminer le les caractéristique de fatigues sur l'appareil flexion deux points (FIGURE V.6) avec une des amplitude de microdéformation différents, chaque deux éprouvettes on été conservé pendant 4 heures avant l'essai à une température choisie selon les conditions climatique de la zone désertique.

Ces température prendre suivant au statistiques météorologie à Ouargla et à Ghardaïa sur les différents saisons, et différents années.

Les figure (FIGURE V.7) représente les températures en fonction de mois depuis l'année 2013 jusqu'à 2017.



PHOTO V.6. Appareil de l'essai de flexion 2 points de l'extérieur.



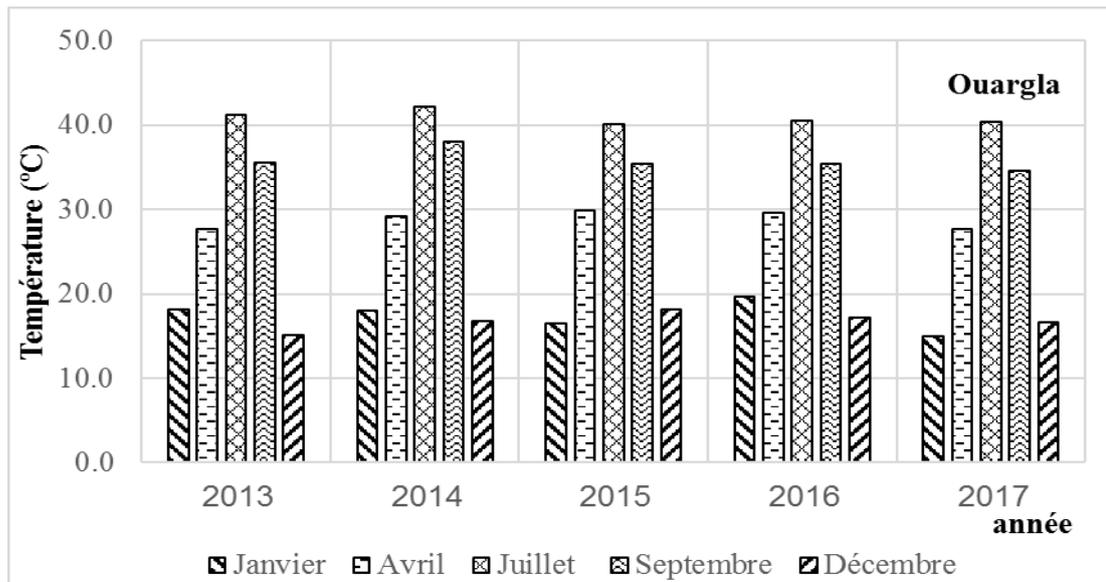


FIGURE V.1. Histogramme des températures de la région d'Ouargla et Ghardaia. [27].

Nous avons choisi quatre qualités différentes dans cette région Ils sont comme suit:

- 6 éprouvettes sous température de 4°C.
- 6 éprouvettes sous température de 10°C.
- 6 éprouvettes sous température de 25°C.
- 2 éprouvettes sous la température de 40°C.

Après le partitionnement, nous commençons par placer deux échantillons dans Appareil de l'essai de flexion 2 points (FIGURE IV.8)



PHOTO IV.7. Appareil de l'essai de flexion 2 points de l'intérieur.



Chapitre VI

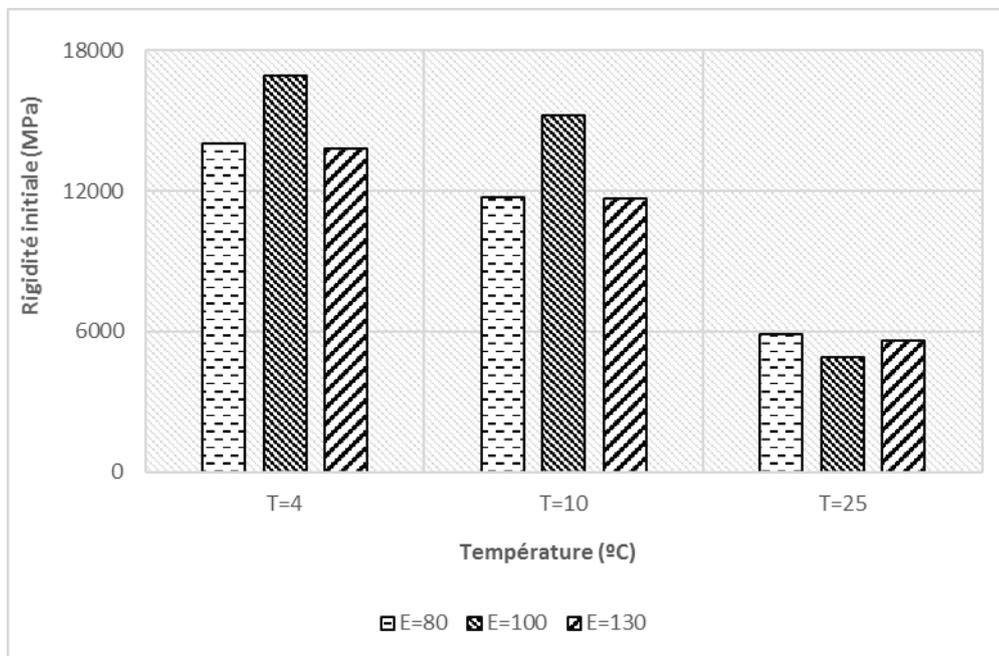
ANALYSE DES RESULTATS

VI.1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente les résultats de dispositif expérimental nous avons discuté précédemment, nous obtenons un ensemble de résultats, qui seraient exploités pour discuter l'influence de quelques critères sur les paramètres de fatigue.

VI.2. INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA RIGIDITÉ

La figure VI.1, c'est un histogramme qui montre l'influence de température sur la rigidité initiale « E_i » pour les trois niveaux de déformation, 80, 100 et 130 micro-déformations.



FIGURES VI.1. Rigidité initiale (E_i) en fonction de la température T .

L'historgramme ci-dessus présente la comparaison de la rigidité initiale pour les trois niveaux de déformation en fonction de température, plus la température est croissante la rigidité des enrobés est diminuée. Entre 4 et 10, l'enrobé (l'éprouvette) perd entre 10 et 16 % de sa rigidité, cette perte augmente à des valeurs d'entre 50 et 67 % entre 10 et 25.

Influence de température sur des paramètres de fatigue étudiée par différents chercheurs tels que [28], plus la rigidité augmente, la résistance à la déformation diminue, on excepte que les enrobés à une bonne résistance à la fatigue sur la température de 25 comparativement aux 10 et 4 °C.

VI.3. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LE NOMBRE DE CYCLES

L'histogramme suivant indiquant la valeur de la durée mesuré pour chaque température, 4°C ; 10°C, 25°C et 40 °C a niveau de déformation fixé (130 micro – déformation).

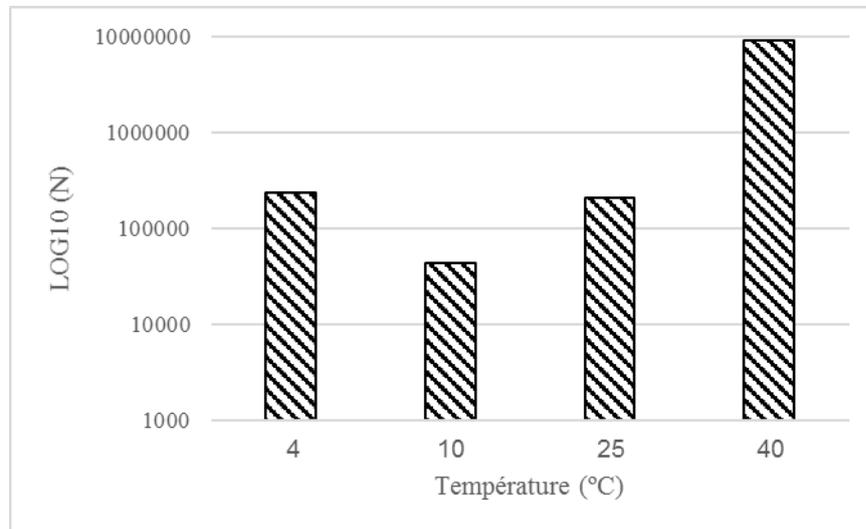


FIGURE VI.2. Durée de vie « N » pour chaque température.

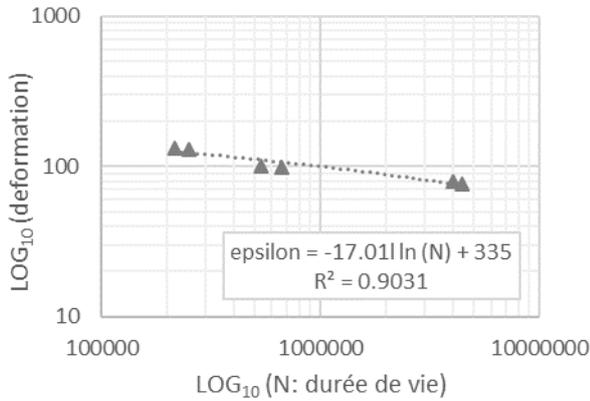
La figure VI.2 présente la durée de vie mesurée pour chaque niveau de déformation a une échelle semi-logarithmique, on remarque que l'augmentation de la température influe positivement sur la durée vie.

A l'autre part, concernant notre sujet, l'influence de la température, et tant que 10°C c'est la température requis par la norme d'essai, l'interprétation de ces résultats divise en deux parties :

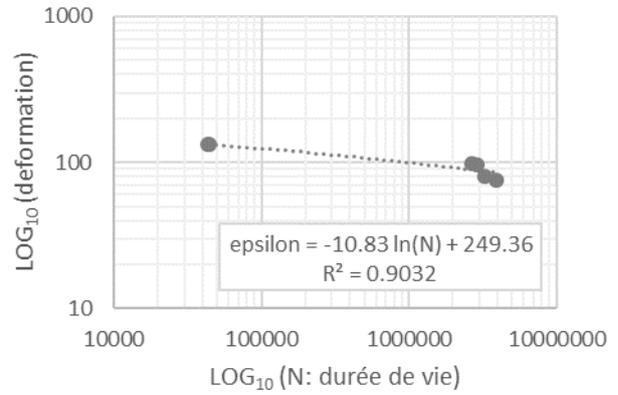
- Inférieure à 10°C, la valeur de durée de vie « N » mesurer de 4°C c'est supérieur comparativement à 10°C, cette augmentation est en accord avec les recherches de [13], d'où à des températures inférieures à 6 °C et autour de 3°C, la relation entre les performances en fatigue et la température c'est une fonction linéaire décroissante et continue avec les températures négatives.
- Supérieure à 10°C, la valeur de durée de vie «N» mesuré pour 25°C et 40° croissant comparativement à la durée de vie à 10°C, les valeurs augmentées par un taux important, quatre fois plus pour 25 et plus de 200 fois à 40°C.

VI.4. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA DROITE DE FATIGUE

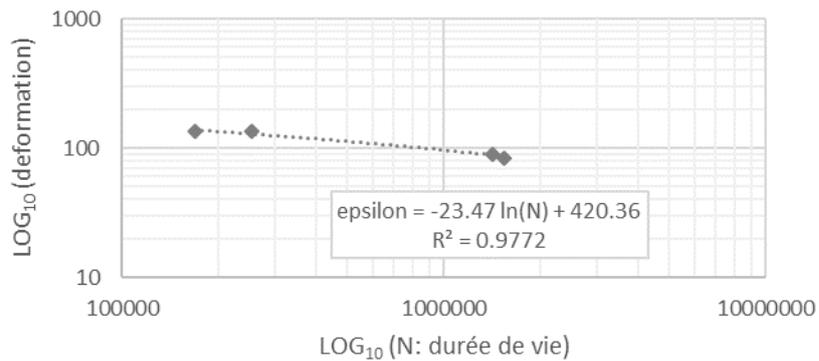
Les figures VI.3 présente les droites de fatigues pour les températures d'études :



a) Droite de fatigue à 4°C



b) Droite de fatigue à 10°C



c) Droite de fatigue à 25°C

FIGURE VI.3. Droites de fatigues.

Les droites de fatigues caractérisent le courbe de **WÖHLER** (ligne de rupture), d'où si l'enrobé dépasse cette ligne des performances élastiques chutées totalement et les fissurations appartiennent au niveau de surface de l'enrobé, cette droite caractérise généralement par la pente A de droite.

La figure suivante présente une superposition des trois droites de fatigue l'un sur l'autre sur une échelle semi-logarithmique :

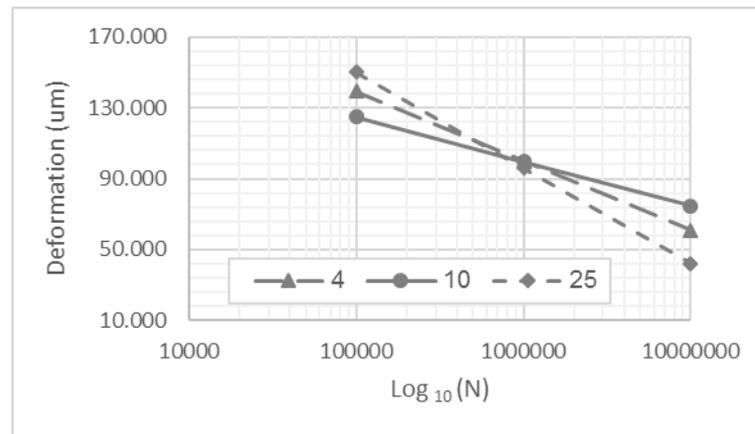


FIGURE VI.4. Superposition des droites de fatigue.

On note suivant les résultats trouvés et les courbes dessinés sur la figure VI.4, que les trois courbes se réunissent en un point, de la déformation correspondant à million de cycles (ϵ_6); ce résultat peut être la cause pourquoi les spécifications et les commissions de normalisation visent le 1 million et non autre valeurs, si sa valeur est stable dans les différentes températures, c'est-à-dire que on peut évaluer les performances de fatigues a quelle que soit la température d'essai et trouve la même valeur de ϵ_6 .

Contrairement aux déformations d'un million de cycles, les droites de fatigue sont complètement différentes, on trouve pour les deux températures (4 et 25) les droites tournent sur l' ϵ_6 , réduit les durées de vie pour les déformations faibles (Trafic faible) et augmentent cette durée pour des déformations fort (Trafic élevée).

VI.5. CONCLUSION

Le sujet de comportement de fatigue est encore nouveau pour l'université de Ouargla, et c'est sûr qu'on est encore dans phase de compréhension ce genre des comportements complexes, l'influence de température c'est l'un de ces sujets qui nous m'intéresse, spécialement avec le particularisme climatique de notre région.

Les résultats trouvés sont compatibles avec les recherches discutées dans le chapitre 02 de cette recherche, mais notre avis sur l'influence de température sur le droit de fatigue et les caractéristiques de ce droite (A, B et ϵ_6) ils ne sont pas compatibles avec des recherches de [13] et [18], la valeur de ϵ_6 selon ces chercheurs, il est aussi sensible aux variations de température, et la stabilité de sa valeur sur notre recherche, ce n'est pas le cas dans la majorité des recherches précédentes similaires de notre sujet. Nous pensons ce phénomène revenir à la dispersion des résultats trouvés dans l'essai de flexion deux points, et aussi le nombre minimal des éprouvettes testées.

CONCUSION GENERALE

CONCUSION GENERALE

Les mélanges bitumineux sont affectés par une série de facteurs conduisant à la fatigue, notamment l'effet thermique, spécialement sur les liants hydrocarbonés, l'élément responsable sur la cohésion et adhésivité des granulats qui compose ces mélanges.

Sur la base de l'ensemble des essais de fatigue réalisés avec différentes températures, on ressort avec quelques conclusions mentionnées comme suit :

1. La température élevée affecte également la vie et la durabilité des chaussées d'une façon positive contre les fissurations, et impose des risques de déformabilité comme l'orniérage.
2. La résistance à la fatigue dans l'été dans notre région est meilleure par rapport à l'hiver.
3. La durée de vie d'enrobé bitumineux croit avec l'augmentation de température positive.
4. Plus la température augmente plus la rigidité des enrobés diminue.
5. Les enrobés ont une meilleure résistance à la fatigue aux alentours de la température 25°C comparativement aux 10 et 4 °C.
6. Sur la base de la recherche bibliographique effectuée on trouve que l'évolution de la température interne de l'échantillon au cours de l'essai est un complètement corrélé avec l'évolution de la force, et rigidité durant l'essai et notamment la résistance a la fatigue.
7. L'évolution de la température interne est en relation aussi avec les propriétés intrinsèques du liant.
8. Selon la recherche bibliographique, sur des températures inférieures à 6 °C, la relation entre la performance en fatigue et la température c'est une fonction linéaire décroissante, ce point est conformant par les essais effectués à 4°C (représente la nuit de la région).
9. La pente de la droite de fatigue augmente quand la température diminue.
10. La dispersion des mesures impose un grand problème sur les mesures des performances de fatigue.

Liste des références

Liste des références

1. **J. BERNARD, A. MICHEL, J. PHILIBERT**, « Métallurgie générale », Paris : Masson et Cie, **1969**.
2. **Bitume Québec**, « Guide de bonne pratique : la mise en œuvre des enrobés », Bitume Québec, Canada, **2008**.
3. **C. De La Roche** : « Module de rigidité et comportement en fatigue des enrobés bitumineux », Thèse de doctorat, Ecole centrale Paris **1996**.
4. **CDC-ENR05** : « CAHIER DES CHARGES, ENROBES A CHAUD », Le Ministre des Travaux Publics , Algérie, **2005**.
5. **CTTP** : « Contrôle Technique des Travaux Publics », Algérie, **2001**.
6. **C. DE LA ROCHE, H. ODEON** : « Expérimentation USAP/LCPC/Shell – fatigue des enrobés – phase 1 – rapport de synthèse », Document de recherche LCPC, sujet n° 2.01.05.2. Nantes : LCPC, **1993**.
7. **H. DI BENEDETTO** : « Nouvelle approche du comportement des enrobé bitumineux : résultats expérimentaux et formulation rhéologique », RILEM, Mechanical tests for bitumineux mixes, Budapest, **Octobre 1990**.
8. **H. DI BENEDETTO** : « Modélisation : écart entre état de connaissances et d'applications » 230 Journée LAVOC, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, **1998**.
9. **Didier Bodin, Jean-Michel Piau, Gilles Pijaudiercabot, Chantal De La Roche** : « Prédiction of the intrinsic damage during bituminous mixes fatigue tests », RILEM Syposium Zurich, **2003**.
10. **A. DJABRI, A. HAMMANA**: « CARACTERISATION DES ENROBES BITUMINEUX RECYCLES », Université de Tébessa, Algérie, **2016**.
11. **Hassan BAAJ** : « Comportement a la fatigue des matériaux granulaires traites aux liants hydrocarbonés », Institut National des Sciences Appliquées INSA, Lyon, France, **2002**.
12. **Ibrahim HACHANI, Djihad DAAS** : « Etude d'un béton bitumineux modifié a la poudre de caoutchouc - Influence du mode de modification », Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, **2013**.
13. **Jean François CORTE, Hervé DI BENEDETTO** : « Matériaux routiers bitumineux 2: constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges bitumineux, volume 2 », Hermès Lavoisier, France, **2005**.
14. **Jean François Corté, Hervé Di Benedetto** : « Matériaux routiers bitumineux 2, constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges », Edit, Hermes-Lavoisier, Paris, **2005**.

15. **Jean-Luc, DELORME, Louissette WENDLING, Chantal de la ROCHE** :« Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés », Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, **2007**.
16. **R. KETTAB Bali, J.M. FLUREAU** : « Conception et Réalisation des Chaussées en Milieu Désertique (Design and Realization of Pavements in Desert Environment) », Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Nancy. France, **2002**.
17. **KHENGAOUI Safia**: «Valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable – bitume», Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, **2013**.
18. **C. PEYRONNE, G. CARROFF**,« Dimensionnement des chaussées », 2ème édition Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, **1991**.
19. **LALDJI Said**: « Les Enrobés bitumineux », ETS Cours, **2015**.
20. **S. SOLIMAN** : « Influence des paramètres de formulation sur le comportement à la fatigue d'un enrobé bitumineux», Rapport de recherche n° 58, Paris: LPC, septembre,1976.
21. **P. UGE, A. GRAVOIS, J.N. LEMAIRE**, « Le comportement en fatigue des enrobés bitumineux : influence du liant », Revue Générale des Routes et des Aéroports, juin **1976**.
22. **Yann LEFEUVRE**: Contribution à l'étude du comportement en fatigue des enrobés bitumineux- Etude de l'allongement des éprouvettes comme manifestation de l'endommagement diffus ,**2001**.
23. **M. MERBOUH M'hammed**. Contribution a la modélisation du comportement rhéologique des enrobés bitumineux Influence des conditions extrêmes de température et de trafic en fatigue. Thèse de Doctorat, Bordeaux-1, France 2010.
24. **A. TAYEB ALI, A. DEACON, J.A. COPLANTZ, J.S. et al**: «Mix and mode-of-loading effects on fatigue response of asphalt-aggregate mixes», Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, **1994**.
25. **Vincent Domec**, «Endommagement par fatigue des enrobés bitumineux en condition de trafic simulé et de température», Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, **2005**
26. **C. De La Roche, J. Charrier, P. Marcas, J-M. Molliard**: «Evaluation de l'endommagement par fatigue des enrobés bitumineux, apport de la thermographie infrarouge», Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 232, pp.19-28, mai-juin, **2001**.
27. **Département de météorologie** de wilaya d'Ouargla.
28. **Carte, P.D.Perraton** : «La mesure du module complexe des enrobés bitumineux», 2eme conférence spécialisée en génie des matériaux de la Société canadienne de génie civil, Montréal, Québec, Canada, 2002.

Annexes

A ANNEXE

MATERIAUX DES CARACTERISATION

UTILISES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P18-560 Septembre 1990

Structure: UNITE D'OUARGLA
N° Dossier interne:
Classe granulaire: 8/15
Prise d'essai: 6000g
Équipements utilisés : BALANCE

Lieu de travail: SALLE DE ROUTE
Date: 24/12/2018
Opérateur: **ACILA** et **SAIDI**
N°D'inventaire :

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

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20	0.00	0.00	0.00	100	100%
16	13	13	0.2	99.8	100%
12.5	1729	1742	29.00	71.00	71%
10	2090	3832	64.00	36.00	36%
8	1824	5656	94.00	4.99	6%
6.3	316	5972	99.5	0.73	0.5%
5					
4					
3.15					
2.5					
2					
1.60					
1.25					
0.63					
0.315					
0.160					
0.080					

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P18-560 Septembre 1990

Structure: UNITE D'OUARGLA

N° Dossier interne: 06/2018

Classe granulaire: 3/8

Prise d'essai: 3200g

Équipements utilisés : BALANCE

Lieu de travail: SALLE DE ROUTE

Date: 24/12/2018

Opérateur: **ACILA** et **SAIDI**

N°D'inventaire :

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

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10	0.00	0.00	0.00	100	100%
8	22	22	1	99	99%
6.3	515	537	17	83	83%
5	365	902	28	72	72%
4	938	1840	58	43	43%
2.5	1106	2946	92	8	8%
1.25	187	3133	98	2	2%
0.63	47	3180	99	1	1%
0.315					
0.160					
0.080					

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ÉQUIVALENT DES ABLENFP-
18598Octobre1991

Structure : D'OUARGLA
N° Dossier interne :
Équipements utilisés:

Lieu de Travail: ...
Opérateur : **ACILA** et **SAIDI**
N° D'inventaire :

Date : 15/12/2018

Tableau (A-9): ÉQUIVALENT DE SABLE

Echantillon	
	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2
Hauteur totale H1 (cm)	11.6	12.7				
Hauteur de sable H2 (cm)	8.1	6.7				
$ES = \frac{H2}{H1} \times 100$	69.8	52.75				
ES moyen (%)	69.8					

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

MICRODEVAL EN PRÉSENCE D'EAU

NFP-18572 Décembre 1990

Structure : unité d'Ouargla
N° Dossier interne :
Échantillon : classe 8/15
Équipements utilisés: BALANCE

Lieu de travail: salle de route
Date : 29/12/2018
Opérateur : **ACILA** et **SAIDI**
N° D'inventaire :

Tableau (A-9): MICRO DEVAL EN PRÉSENCE D'EAU

Classe granulaire	Masse abrasive	Poids d'éléments >1.6 mm m' (g)	Poids d'éléments <1.6 mm m = M-m' (g)	$MDE = 100 \cdot \frac{m}{M}$	Observations
10/14	5000			11.2	

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

LOS ANGELES
NFP-18573 Décembre 1990

Structure: UNITE D'OUARGLA
N° Dossier interne:
Échantillon: classe 8/15
Équipements utilisés : BALANCE

Lieu de travail: SALLE DE ROUTE
Date: 24/12/2018
Opérateur: ACILA et SAIDI
N°D'inventaire:

Tableau (A-10): LOS ANGELES

Classe granulaire	Nombre de boulets	Poids d'éléments > 1.6 mm (g)	Poids d'éléments < 1.6 mm = M-m' (g)	LA = $100 \cdot \frac{m}{M}$	Observations
10/14	11			25	

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

MICRODEVALEN PRÉSENCE D'EAU

NFP-18572 Décembre 1990

Structure : unité d'Ouargla

N° Dossier interne :

Échantillon : classe : 3/8

Équipements utilisés: BALANCE

Lieu de travail: salle de route

Date : 29/12/2018

Opérateur : **ACILA** et **SAIDI**

N° D'inventaire :

Tableau (A-11): MICRO DEVAL EN PRÉSENCE D'EAU

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

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

LOS ANGELES
NFP-18573 Décembre 1990

Structure: UNITE D'OUARGLA
N° Dossier interne:
Échantillon: classe : 3/8
Équipements utilisés: BALANCE

Lieu de travail: SALLE DE ROUTE
Date: 24/12/2018
Opérateur: ACILA et SAIDI
N° D'inventaire:

Tableau (A-12): LOS ANGELES

Classe granulaire	Nombre de boulets	Poids d'éléments > 1.6 mm (g)	Poids d'éléments < 1.6 mm = M-m' (g)	LA = $100 \cdot \frac{m}{M}$	Observations
10/14	11			20	

L'Opérateur

Visa du responsable

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P18-560 Septembre1990

Structure :UNITE D'OUARGLA

N° Dossier interne:

Classe granulaire: 0/3

Prise d'essai: 1200g

Équipements utilisés :

Lieu de travail:

SALLED'INTIFICATIO

Date: 24/12/2018

Opérateur: **ACILA** et **SAIDI**

N°D'inventaire :

Tableau(A.3): ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS SABLE 0/3

Ouverture	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
Tamis					
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10					
8					
6.3	0	0	0	100	100
5	0	0	0	100	100
4	13	13	1	99	99
2	197	210	18	83	83
1.25	221	431	36	64	64
0.63	188	619	52	48	48
0.5	34	653	54	46	46
0.4	47	700	58	42	42
0.2	129	829	69	31	31
0.080	243	1072	89	11	11

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

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

BTS.DUT

Structure : unité d'Ouargla

N° Dossier interne :

Échantillon : 3/8

Équipements utilisés: BALANCE

Masse volumique absolue :

Volume du récipient $V=5000$

Poids $P=3836$

$P_1+T=11410.1$ $P_1=7574.1$

$P_2+T=11394.1$ $P_2=7558.1$

$P_3+T=11337.7$ $P_3=7501.7$

$P_4+T=11336.4$ $P_4=7500.4$

Poids moyen $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4=7533.575$

Masse volumique apparente $P/V=1.506$

Lieu de travail: sale de route

Date : 30/12/2018

Opérateur : **ACILA** et **SAIDI**

N° D'inventaire :

Masse volumique apparente:

Poids des agrégats secs $P_1=300g$

Poids du récipient plein d'eau $P_2=490.3$

$P_3=P_1+P_2=790.3$

Poids récipient + agrégats+ eau= 673.021

$P_4=673.021$

Volume des agrégats $V=P_3-P_4=117.279$

Masse volumique absolue $P_1/V=2.558$

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

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

BTS.DUT

Structure : unité d'Ouargla

N° Dossier interne :

Échantillon : 8/15

Équipements utilisés: balance

Lieu de travail: salle de route

Date : 30/12/2018

Opérateur : **ACILA** et **SAIDI**

N° D'inventaire :

Masse volumique absolue :

Volume du récipient $V=5000$

Poids $P=3836$

$P_1+T=11152.5$ $P_1=7316.5$

$P_2+T= 11160$ $P_2=7324$

$P_3+T= 11121.3$ $P_3=7285.3$

$P_4+T= 11114$ $P_4=7278$

Poids moyen $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4=7300.95$

Masse volumique apparente $P/V=1.46$

Masse volumique apparente:

Poids des agrégats secs $P_1= 300g$

Poids du récipient plein d'eau $P_2= 490.3$

$P_3= P_1+P_2= 790.3$

Poids récipient+ agrégats+ eau= 672.653

$P_4= 672.653$

Volume des agrégats $V=P_3-P_4=117.647$

Masse volumique absolue $P_1/V =2.550$

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

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

BTS.DUT

Structure : unité d'Ouargla

N° Dossier interne :

Échantillon : 0/3

Équipements utilisés: BALANCE

Lieu de travail: salle de route

Date : 30/12/2018

Opérateur : **ACILA** et **SAIDI**

N° D'inventaire :

Masse volumique absolue :

Volume du récipient $V=161.24$

Poids $P=53.38$

$P_1+T=305.63$ $P_1=252.25$

$P_2+T=305.50$ $P_2=252.12$

$P_3+T=305.03$ $P_3=251.65$

$P_4+T=305.99$ $P_4=252.61$

Poids moyen $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4=252.157$

Masse volumique apparente $P/V=1.563$

Masse volumique apparente:

Poids des agrégats secs $P_1=300$

Poids du récipient plein d'eau $P_2= 516.18$

$P_3= P_1+P_2=816.18g$

Poids récipient+ agrégats+eau= 698.87

$P_4= 698.87$

Volume des agrégats $V=P_3-P_4=117.31$

Masse volumique absolue $P_1/V =2.557$

L'Opérateur

Visa du responsable

Spécifications de sable bitume selon les normes de LCPC

Essais	Caractéristiques	Spécifications <1000v/j
Marshall	Stabilité (kg)	≥ 300
	Compacité(%)	87-94

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

Essais	Caractéristiques	Spécifications
Marshall	Stabilité (kg)	≥ 1200
	Compacité(%)	95-97
	Fluage (mm)	<4

Spécifications de béton bitumineux 0/14 selon les normes Algériennes

Essais	Caractéristiques	Spécifications
Marshall	Stabilité (kg)	≥ 1000,5
	Compacité(%)	95-97
	Fluage (mm)	<4

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

**Données climatologiques enregistrées au niveau de la station météorologique
d'Ouargla (2013-2017)[Département de météorologie de wilaya d'Ouargla]**

Année	Mois	TN en °C	TX en °C	UN en %	UX en %	FX en m/s	RR en mm	EVA en mm	INS en Heure
2013	Janvier	4.9	20.2	35	80	8.1	3.6	100.9	246.6
	Février	5.3	21.2	30	70	8.8	0.0	112.9	267.5
	Mars	11.9	28.6	29	70	9.8	0.2	166.9	277.3
	Avril	15.4	30.9	21	58	11.1	6.3	191.8	268.2
	Mai	19.1	35.5	11	39	10.6	0.0	227.8	330.7
	Juin	23.4	39.8	11	35	9.3	0.0	317.3	226.1
	Juillet	27.8	43.5	10	30	9.1	0.0	414.4	315.9
	Août	26.1	40.7	13	36	9.4	2.4	319.1	340.8
	Septembre	23.2	38.3	16	47	9.2	Trace	287.1	279.4
	Octobre	19.5	35.8	16	44	7.0	0.0	276.7	268.5
	Novembre	10.0	23.4	26	66	7.6	4.6	147.5	245.9
Décembre	6.3	17.3	47	92	7.3	24.5	55.9	205.0	
2014	Janvier	6.2	19.4	34	81	7.4	0.0	87.0	246.7
	Février	8.2	22.8	21	63	8.9	0.0	138.4	244.4
	Mars	10.1	23.8	22	58	11.0	0.4	157.8	252.5
	Avril	15.1	31.4	13	42	8.7	0.0	223.3	309.5
	Mai	20.2	35.2	14	43	10.7	14.1	329.1	316.9
	Juin	23.8	39.7	11	40	10.2	2.0	337.9	225.3
	Juillet	28.5	44.6	10	27	9.2	0.0	488.9	298.5
	Août	27.9	44.1	10	33	8.9	0.0	397.1	320.8
	Septembre	25.8	40.6	13	39	9.9	0.0	287.6	259.5
	Octobre	17.0	32.9	16	48	8.3	2.0	213.2	288.3
	Novembre	12.1	25.7	24	68	7.8	6.8	88.8	224.2
Décembre	5.9	19.0	33	79	7.5	5.8	85.9	249.8	
2015	Janvier	4.0	18.3	26	72	8.4	0.8	93.0	259.0
	Février	6.9	18.8	26	63	9.9	24.5	91.0	218.9
	Mars	10.1	24.6	17	59	8.6	4.7	158.9	299.4
	Avril	16.3	32.1	12	41	9.3	0.0	256.5	272.1
	Mai	20.7	37.0	11	33	9.1	0.0	334.1	347.5
	Juin	24.7	39.8	10	33	9.0	0.0	365.4	239.0
	Juillet	26.5	42.0	10	32	6.9	0.0	346.7	339.0
	Août	29.1	42.8	13	39	9.7	Trace	366.6	310.8
	Septembre	23.9	37.9	17	50	8.3	1.3	233.8	226.2
	Octobre	17.6	31.8	22	56	7.9	Trace	158.5	259.0
	Novembre	10.9	24.3	30	72	6.8	0.0	98.2	270.8
Décembre	4.8	20.0	34	81	4.7	0.0	75.2	253.9	
2016	Janvier	6.5	21.2	25	63	6.6	Trace	135.8	259.8
	Février	8.1	22.7	20	57	7.7	0.0	187.0	249.0
	Mars	9.7	25.7	14	45	8.3	2.0	259.4	302.0
	Avril	16.7	32.8	14	49	10.3	1.0	288.6	285.6
	Mai	21.3	36.0	11	35	12.3	0.0	388.3	259.8

	Juin	24.9	41.0	11	32	10.5	0.0	479.6	190.7
	Juillet	27.4	42.6	10	30	8.9	0.0	486.1	322.1
	Août	26.9	41.3	12	32	9.0	0.0	473.1	352.1
	Septembre	24.3	38.0	17	49	8.7	4.6	301.9	282.0
	Octobre	19.4	34.2	19	56	8.3	4.3	278.9	251.0
	Novembre	10.5	24.5	25	67	3.8	0.7	157.7	228.8
	Décembre	8.1	19.5	41	87	6.6	4.5	85.3	211.0
2017	Janvier	3.4	17.5	27	72	8.7	0.3	110.7	263.2
	Février	8.5	23.1	22	58	10.0	0.0	172.6	204.2
	Mars	11.5	26.1	18	57	9.9	20.7	239.2	285.1
	Avril	15.2	29.9	17	50	11.7	0.8	283.9	272.1
	Mai	22.9	37.5	12	37	11.8	Trace	464.9	283.9
	Juin	25.5	40.4	12	35	11.7	0.2	433.3	205.3
	Juillet	27.3	43.1	11	27	9.9	0.0	505.1	325.3
	Août	27.1	42.9	10	32	10.5	0.0	439.3	366.1
	Septembre	21.9	36.6	18	56	10.3	12.8	270.4	266.0
	Octobre	16.1	29.4	25	68	8.0	22.6	187.2	296.4
	Novembre	9.4	22.9	29	76	8.5	14.6	129.2	240.1
	Décembre	5.4	18.2	33	80	9.4	2.6	80.3	226.0

Données climatologiques enregistrées au niveau de la station météorologique de Ghardaia (2013-2017)[Département de météorologie de wilaya d'Ouargla]

Année	Mois	TN en °C	TX en °C	UN en %	UX en %	FX en m/s	RR en mm	EVA en mm	INS en Heure
2013	Janvier	7.2	18.2	32	68		4.0	123.4	267.9
	Février	6.8	18.4	25	57		0.0	146.4	261.0
	Mars	12.5	25.0	22	55	13.8	5.3	202.2	273.4
	Avril	15.2	27.7	22	53	14.2	2.9	208.3	290.4
	Mai	18.6	32.5	17	48	15.1	0.4	213.2	345.3
	Juin	23.3	36.8	18	41	13.2	0.0	339.8	354.4
	Juillet	28.0	41.2	17	37	13.7	0.0	396.7	329.3
	Août	25.7	38.5	21	47	13.2	2.7	307.9	334.7
	Septembre	23.3	35.6	25	60	13.2	4.7	265.4	286.7
	Octobre	20.3	33.5	24	52	10.2	2.4	214.2	289.9
	Novembre	11.4	21.6	30	65	11.0	14.9	130.9	249.9
Décembre	6.4	15.1	45	86	10.0	30.2	47.9	196.5	
2014	Janvier	7.2	18.0	29	68	10.8	1.8	80.1	250.2
	Février	9.1	20.5	22	58	12.1	12.4	112.4	244.7
	Mars	10.5	21.4	21	49	14.2	0.2	171.6	265.9
	Avril	15.9	29.2	13	36	12.2	0.0	232.3	329.4
	Mai	20.6	33.2	14	38	13.2	14.6	307.7	332.5
	Juin	23.1	37.0	13	39	14.3	1.9	322.7	340.2
	Juillet	28.9	42.1	11	26	14.3	1.0	417.3	306.3
	Août	29.0	42.2	11	30	12.3	0.3	360.9	320.7
	Septembre	25.7	38.1	15	41	14.1	2.9	296.2	247.1
	Octobre	18.5	31.0	17	43	11.0	0.1	231.6	293.7
	Novembre	12.2	23.4	26	62	11.7	4.3	130.8	223.3
	Décembre	6.9	16.8	34	69	11.1	1.9	87.0	245.9
2015	Janvier	5.4	16.5	25	63	11.8	3.9	88.8	247.3
	Février	6.3	16.6	26	58	15.7	11.2	117.3	216.5
	Mars	10.1	22.8	18	48	12.7	0.0	160.7	315.6
	Avril	16.0	29.9	13	38	13.6	0.1	232.2	287.5
	Mai	20.9	34.8	13	32	13.1	0.0	312.4	358.3
	Juin	24.1	37.2	13	35	15.5	0.4	321.8	343.8
	Juillet	26.8	40.1	12	29	12.1	0.0	315.5	386.7
	Août	27.4	39.9	16	47	15.3	14.9	304.2	275.0
	Septembre	23.3	35.4	20	54	15.5	13.3	210.3	244.1
	Octobre	18.1	29.2	26	58	11.0	5.1	164.1	274.0
	Novembre	11.3	21.5	34	70	10.2	4.7	85.1	271.5
	Décembre	6.8	18.1	36	74	6.9	0.0	64.5	263.0
2016	Janvier	8.0	19.7	26	57	10.6	0.0	120.1	270.8
	Février	9.0	20.4	23	52	12.2	0.2	129.7	248.4
	Mars	10.7	23.3	15	43	14.1	0.2	191.5	310.7
	Avril	15.8	29.7	16	48	13.8	6.6	220.8	296.5
	Mai	20.2	33.3	13	36	14.7	2.3	313.9	322.6

	Juin	24.4	38.2	13	33	12.9	0.0	317.4	349.8
	Juillet	27.8	40.5	13	30	12.5	0.0	339.0	367.9
	Août	27.1	38.9	16	37	13.1	0.6	344.9	343.1
	Septembre	23.5	35.5	21	51	14.3	3.0	228.1	266.8
	Octobre	19.1	31.3	23	54	12.1	0.0	200.6	279.0
	Novembre	11.1	22.0	29	64	10.7	4.0	114.5	259.2
	Décembre	8.0	17.2	44	85	10.9	3.1	66.4	213.1
2017	Janvier	4.7	14.9	32	68	12.6	1.0	86.3	270.7
	Février	8.8	20.6	25	56	12.2	0.0	128.6	220.2
	Mars	12.0	24.3	19	51	13.1	0.8	165.1	292.2
	Avril	14.9	27.7	18	45	14.7	0.2	220.2	284.1
	Mai	22.1	34.9	13	37	13.8	0.0	308.8	331.4
	Juin	25.1	37.7	14	37	12.7	2.0	299.7	335.0
	Juillet	27.4	40.4	11	26	11.7	0.0	347.0	368.4
	Août	27.0	40.3	12	31	11.3	0.0	340.4	357.4
	Septembre	21.7	34.5	18	51	12.4	16.1	251.0	300.6
	Octobre	16.2	27.5	25	63	9.3	8.1	160.9	309.9
	Novembre	10.0	22.1	24	59	10.2	5.8	134.3	254.3
	Décembre	6.2	16.7	32	66	11.2	0.3	95.0	235.7

ANNEXE B

ETUDE DE FORMULATION

Tableaux 1 CALCUL DE COMPOSITION GRANULAIRE.

Tamis	filler	4	% 0/3	38.00	% 3/8	22.00	% 8/15	36.00	Tamis	100.00
20	100	4.00	100	38.00	100	22.00	100	36.00	20	100.0
16	100	4.00	100	38.00	100	22.00	99	35.64	16	99.6
14	100	4.00	100	38.00	100	22.00	95	34.20	14	98.2
12.5	100	4.00	100	38.00	100	22.00	71	25.56	12.5	89.6
10	100	4.00	100	38.00	100	22.00	36	12.96	10	77.0
8	100	4.00	100	38.00	99	21.78	6	2.16	8	65.9
6.3	100	4.00	100	38.00	83	18.26	1	0.18	6.3	60.4
5	100	4.00	100	38.00	72	15.84	0	0.00	5	57.8
4	100	4.00	99	37.62	43	9.46	0	0.00	4	51.1
3.15	100	4.00	96	36.48	17	3.74	0	0.00	3.15	44.2
2.5	100	4.00	91	34.58	8	1.76	0	0.00	2.5	40.3
2	100	4.00	83	31.54	5	0.99	0	0.00	2	36.5
1.6	100	4.00	73	27.74	3	0.66	0	0.00	1.6	32.4
1.25	100	4.00	64	24.32	2	0.44	0	0.00	1.25	28.8
1	100	4.00	56	21.28	2	0.33	0	0.00	1	25.6
0.63	100	4.00	48	18.24	1	0.22	0	0.00	0.63	22.5
0.315	100	4.00	38	14.44	0	0.00	0	0.00	0.315	18.4
0.08	100	4.00	11	4.18	0	0.00	0	0.00	0.08	8.2

Fuseau Granulométrique

Fuseau Granulométrique	Tamis	Béton		
	(mm)	Bitumineux 0/14		
		min	milieu	max
	14	94	97	100
	10	72	78	84
	6.3	50	58	66
	2	28	34	40
	0.08	7	8.5	10

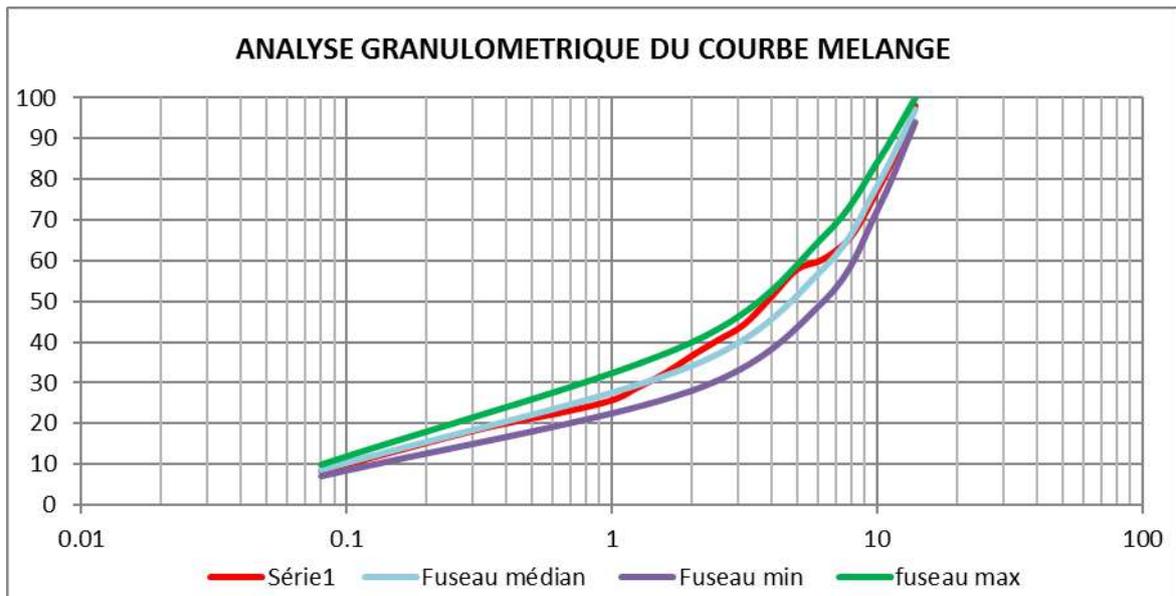


Figure B.1 Courbe de mélange s'insère au fuseau de référence.

Informations Théoriques

$$\text{Teneur en liant} = k \cdot \alpha \cdot (\Sigma)^{0,2}$$

avec :

k : Module de richesse : exprime l'épaisseur d'enrobage

α : Coefficient correcteur des masses volumiques

Calcul Σ			
Propor.		Coef.	Produit
G	39	0.25	0.10
S	45	2.3	1.03
s	9	12	1.06
f	7	150	11.22
Σ	100		13.403

Calcul de Coefficient Correcteur α :

$$\alpha = 2.65 / \text{MVRg}$$

$$\text{MVRg} = 2.637$$

$$\alpha = 1.005$$

Tableau B.3 TENEUR EN LIANT DE LA PREMIERE FORMULATION

Teneur en liant adopté			
<i>Teneur en liant</i>	5.8	6	6.1
<i>Module de richesse</i>	3.32	3.55	3.67
<i>Coef correcteur</i>	1.005		
<i>Surface Spécifique</i>	13.403		
<i>Densité théorique</i>	2.438	2.426	2.420

تتميز الخرسانة الإسفلتية بنوع من السلوكيات المركبة والتي تتأثر بدرجة الحرارة، وسرعة حركة السير (المرور)، يتم تقسيمها ودراستها وفق على السلوكيات الرئيسية هي اللزوجة المرنة (VEL) المعرفة عن طريق اختبار المعامل المركب، مزيج من المرونة واللدونة مرفوقة بحضور قوي للزوجة والتي تتم دراستها عن طريق اختبار التخدد. لكن بشكل عام، يستهدف الباحثون الإرهاق (الانهيار) كالسلوك الرئيسي و الأهم بينهم، حيث تحدد كل لجنة معايير توحد شروط الاختبار، وتأخذ في الاعتبار خصائص المواد، وخصائص المنطقة التي ينتمون إليها مثل الظروف المناخية. لسوء الحظ، ليس هذا هو الحال في منطقتنا، فلجنة المعايير الجزائرية تطرح في معاييرها نفس الشروط الأوروبية لإجراء التجارب. قد تظل هذه الأخيرة صالحة في المنطقة الشمالية من الجزائر، لكن في المناطق الصحراوية مثل حالة ولاية غرداية و ورقلة، تكون درجة الحرارة مرتفعة جدًا مقارنة بدرجة حرارة الاختبار وفقًا للمعايير الأوروبية (10 درجة مئوية). يُقترح هذا الموضوع لغرض دراسة تأثير درجة الحرارة على سلوك الإرهاق (الانهيار)، وذلك بمقارنة نتائج الاختبار المختلفة بين أربع درجات حرارة، و 10 درجة مئوية من الاختبار، ومتوسط درجة حرارة منطقتي ورقلة وغرداية، ودرجة حرارة 40 درجة مئوية.

ABSTRACT

Asphalt concrete has a complex behavior depend on the temperature, and the speed of sollicitation (traffic). The main behaviors are viscoelastic (VEL) defined by complexe modulus test, and elasto - viscoplastic defined by rutting test. Overall the researchers target fatigue as the bigger behavior in theirs studies, and each standardization commission defines the test conditions, and takes into consideration the characteristics of materials, and the properties of the region to which they belong such as climatic conditions. Unfortunately, this is not the case in our region, the Algerian standardization commission take the same European conditions. The latter may remain valid in the northern region of Algeria, but the Saharan areas such as the case of wilaya Ghardaia and Ouargla, the temperature is quite high compared to the test temperature according to the European standard (10°C). This subject is proposed for the purpose of studying the influence of temperature on fatigue behavior, by comparing the different test results between four temperature, 10°C of the test, and the average temperature of the Ouargla and Ghardaia regions, and the temperature of 40°C.

RÉSUMÉ

Les enrobes à des comportements complexe dépends à la température, et la vitesse de sollicitation (trafic). Les principaux comportements sont viscoélastiques (VEL) définie par essai module complexe, et élasto - viscoplastique définie par essai d'orniérage. Globalement les chercheurs visent la fatigue comme le grand comportement étudié, et chaque commission de normalisation définie les conditions d'essai, et prends en considération le caractéristiques de matériaux, et les propriétés de la région à la quelles ils appartiennent tels que les conditions climatiques a titre exemple, malheureusement ce n'est pas de cas de notre région, la normalisation algérienne propose les mêmes conditions européennes. Ce dernier peut rester valable dans la région nord de l'Algérie, mais les zones sahariennes comme le cas de wilaya de Ghardaïa et Ouargla, la température est assez élevée par rapport la température d'essai selon la norme européen (10 °C). On propose ce sujet au but d'étudier l'influence de température sur le comportement de fatigue, par une comparaison des différents résultats de l'essai entre quatre température, 10°C de l'essai, et la température moyenne des régions Ouargla et Ghardaïa, et la température de 40°C.