

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 fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Filière: Travaux Publics

Spécialité : Voie Et Ouvrage D'art

Thème

**L'influence du type de bitume sur l'aptitude au compactage
d'un enrobé bitumineux**

Présenté par :

- ❖ **BOUARI Mohammed**
- ❖ **RABIA Adel Chouaib**

Soumis au jury composé de :

TALMATKADI Fatiha	UKM Ouargla	Présidentes
KHENGAOUI Safia	UKM Ouargla	Examinatrice
BENTATA Aissa	UKM Ouargla	Encadreur

Année Universitaire: 2020 / 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

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. **BENTATA Aissa**
pour tous les efforts qu'il a fait pour nous

Nous tenons à remercier tous les professeurs du Faculté des sciences appliqués, en particulier le
Département Génie Civil et d'Hydraulique

Nous remercions vivement et infiniment,

Toute l'équipe de LTPS Unité De Ouargla et Ghardaïa.

Je tiens à remercier Mr : **Kourichi Djamel-Hafssi a.hafidh-Bendjdeia ahmed**
et Mr **BOUCHERBA Mohammed.**

Nous remercions tout le tous nos collaborateurs
Projet De la ville nouvelle de Hassi Messaoud W. Ouargla
Surtout mes collègues de

ETABLISSEMENT DE LA VILLE NOUVELLE DE HASSI MESSAOUD - E.V.N.H

A mes amies et les collègues de l'université.

A tous ceux qui nous ont assistés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de
Fin d'étude.



Dédicace

A l'âme pure de ma mère. A mon cher père...

A mes chères sœurs et mes frères

*A Ma chère femme qui m'a encouragé à recommencer pour terminer
mes études*

A mes chers enfants

Yousef, abdelhak, safa, arwa, aridj alaarahman

à mon collègue RABIA Adél Chouaib

A mes amies et les collègues de l'université.

*A tous ceux qui nous ont assistés de près ou de loin dans la
réalisation de ce projet de Fin d'étude.*



BOUARI MOHAMMED



Dédicace

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

*Leur soutien et leurs
encouragements.*

*A mes chères sœurs et mes frères
A tout ma grande famille et tout qu'a une relation avec elle*

Soit proche ou lointain.

À mon collègue BOUARI MOHAMMED

A mes amies et les collègues de l'université.



RABIA Adel Chouaib

ملخص :

إن الضغط و الرص في الخلطة الإسفلتية هو الخاصية الأساسية التي تعتمد عليها صياغة الخلائط البيتومينية. حيث يمكننا من خلالها تحسين مقادير المكونات المختلفة للخلطات يتم اختبار هذا الرص عادةً بواسطة اختبار ضغط القص الدائري PCG. من بين العوامل التي أثرت على هذا الانضغاط جودة المواد المستخدمة. في هذا السياق سنختبر قدرة الضغط لمزيج بيتومين مصنوع من البيتوم المعدل بالبوليمر من أجل معرفة تأثير نوع البيتومين على هذه الخاصية مقابل. في خليط الإسفلت العادي المعتمد على البيتوم النقي 50/40. من خلال هذه الدراسة التجريبية ، قمنا بصياغة خليط يعتمد على البيتوم المعدل إلى البوليمر ، ويتم تحديد تحسين مكونات الإسفلت من خلال النتائج التي تم الحصول عليها في اختبار مارشال. تظهر النتائج النهائية التي تم الحصول عليها أن البيتومين المعدل بالبوليمر له تأثير إيجابي على انضغاط الخلطات ويعطي الخرسانة الإسفلتية بانضغاط جيد. الكلمات المفتاحية: البيتومين النقي 50/40 ، البيتومين المعدل بالبوليمر ، الانضغاط ، اختبار ضغط القص الدائري PCG

Résumé :

La compacité d'un enrobé bitumineux est la propriété primordiale sur laquelle est basée la formulation des enrobés bitumeux. puisque à travers de celle-ci nous pouvons optimiser le dosage de différents composants des enrobés

Cette compacité est généralement testée par l'essai de presse de cisaillement giratoire PCG. Parmi les facteurs influencés sur cette compacité la qualité des matériaux utilisés. Dans ce contexte nous avons testé l'aptitude au compactage d'un enrobé bitumineux confectionné par un bitume modifié à polymère, en vue de savoir l'effet de ce type de bitume sur cette propriété vis-à-vis un enrobé ordinaire à base de bitume pure 40/50.

A travers cette étude expérimentale nous avons formulé un mélange à base bitume modifié à polymère, et L'optimisation des constituants des enrobés est déterminé par les résultats obtenus à l'essai Marshall

Les résultats obtenus montrent que le bitume modifié à polymère sert positivement la compacité des enrobés et donne un béton bitumineux à bonne compacité.

Mots clés : Bitume pure 40/50, bitume modifié à polymère, compacité, PCG

Summary:

The compactness of a bituminous mix is the essential property on which the formulation of bituminous mixes is based. Since through it we can optimize the dosage of different components of the mixes

This compactness typically tested by the PCG gyratory shear press test. Among the factors influenced on this compactness the quality of the materials used. In this context we will test the compaction ability of a bituminous mix made with a polymer modified bitumen in order to know the effect of the type of bitumen on this property vis-à-vis an ordinary asphalt mix based on pure bitumen 40/50.

Through this experimental study we have formulated a mixture based on modified bitumen to polymer, and the optimization of the constituents of the asphalt is determined by the results obtained in the Marshall test

The final results obtained show that the polymer-modified bitumen has a positive effect on the compactness of the mixes and gives an asphalt concrete with good compactness.

Key words: Pure bitumen 40/50, polymer modified bitumen, compactness, PCG

Liste des Tableaux

Tableau I.01 : Composition schématique d'un pétrole brut.....	03
Tableau I.02 : Classification des granulats.....	04
Tableau I.03 : Caractéristiques exigées pour les granulats routiers.....	05
Tableau I.04: les essais mécaniques sur les liants.....	11
Tableau I.05 : Composition granulométrique courbe de départ.....	15
Tableau IV-2-1: les résultants des analyses.....	35
Tableau IV-2-2: Caractéristiques du bitume	37
Tableau IV-4-1: Fuseau de spécifications 0/14.....	38
Tableau IV-5-1: Pourcentages des agrégats utilisés (BB ordinaire).....	39
Tableau IV-6-1: Teneur en bitument.....	40
Tableau V.4. Exemple des Spécifications relatives au pourcentage de vides	45
Tableau V.5.1 de valeur de composition du mélange bitumineux	46
Tableau V.6.1 Les résultats d'essai PCG du Mélange(01).....	47
Tableau V.6.2 Les résultats d'essai PCG du Mélange (02).....	48
Tableau V.6.3 Les résultats d'essai PCG du Mélange (03).....	50
Tableau VI Résumé La compacité	52

Liste des Figures

Figure I.1 : mélange enrobé bitumineux.....	02
Figure I.01 : Morceau de bitume provenant d'un gisement naturel en bordure de la mer morte....	02
Figure I.03 : Gisement de bitume naturel (LAKE ASPHAL Trinidad).....	03
Figure I.07 : - Fabrication du bitume.....	08
Figure I.09 : Principe de l'essai de Ductilité.....	11
Figure I.13 . Matériaux bitumineux.....	14
Figure I.16 Presse à cisaillement giratoire (PCG).....	17
Figure I.22 . Essai de fatigue en flexion 2 points sur éprouvettes trapézoïdales.....	20
Figure IV-2-1 : Courbe granulométrique	36
Figure IV-5-1 : Composition granulaire (BB ordinaire).....	39
Figure V.1 . Principe de Cisaillement Giratoire	41
Figure V.2 . Malaxage des granulats avec un bitume pur.....	42
Figure V.4 . Présentation des résultats d'essai PCG.....	45
Figure V.6.1 Courbe Les résultats d'essai PCG du Mélange (01).....	48
Figure V.6.2 Courbe Les résultats d'essai PCG du Mélange (02).....	49
Figure V.6.3 Courbe Les résultats d'essai PCG du Mélange (03).....	51
Figure VI Courbe de Résumé La compacité.....	52

Liste des symboles

F	Filler
s	Sable fin
S	Sable grossier
G	Gravier
K	Module de richesse
Σ	Surface spécifique
TL	Teneur en liant
J	Jours
M	Masse des éprouvettes
I	Résistance à la compression avec immersion à 18°C en Kg/cm ²
C	Résistance à la compression sans immersion à 18°C en Kg/cm ²
hmin	La hauteur minimale correspondent un pourcentage de vide = 0 %
H	Hauteur des éprouvettes
D	Diamètre
MVR	Masse Volumique Réel
MVA	Masse Volumique Apparente
V	Pourcentage de vide
PCG	Presse Cisaillement Giratoire
m_{ij}	Déformation local en mm
m_{ij0}	La mesure initiale à l'emplacement
Pi	le pourcentage de profondeur d'ornièrè mesurée (%),
E*	Module complexe
 E* 	Module de rigidité
E1	Module d'élasticité dynamique
E2	Module de perte
E₀	Module de rigidité initiale avant fatigue
S	la sollicitation imposée (contrainte ou déformation imposée)
N	la durée de vie correspondante

SOMMAIRE

<i>Chapitre</i>	<i>Page</i>
<i>Introduction</i>	<i>01</i>
<u><i>Chapitre I LES BITUMES</i></u>	
<i>I.1. Introduction</i>	<i>02</i>
<i>I.2. Origine des bitumes</i>	<i>02</i>
<i>I.3. Bitumes artificiels</i>	<i>03</i>
<i>I.4. Constituants d'un enrobé bitumineux</i>	<i>03</i>
<i>I.4.1 Granulats</i>	<i>03</i>
<i>I.4.2 Caractéristiques physiques et propriétés des granulats</i>	
<i>I.4.3 Les fines d'apport</i>	<i>05</i>
<i>I.4.4 les liants hydrocarbonés</i>	<i>06</i>
<i>I.5. Fabrication du bitume</i>	<i>07</i>
<i>I.5.1 La distillation</i>	<i>07</i>
<i>I.6 Les essais de caractérisation des bitumes.</i>	<i>08</i>
<i>I.6.1 Les essais classiques</i>	<i>08</i>
<i>I.6.2 Le point de ramollissement bille et anneau</i>	<i>09</i>
<i>I.6.3 L'essai :RTFOT "Rolling Thin Film Oven Test</i>	<i>09</i>
<i>I.6.4 Le point de fragilité</i>	<i>10</i>
<i>I.6.5 Essai de ductilité</i>	<i>10</i>
<i>I.6.6 Essais mécaniques</i>	<i>11</i>
<i>I.7 Classification des enrobés hydrocarbonés</i>	<i>12</i>
<i>I.8 Influence des actions appliquées à la chaussée</i>	<i>12</i>
<i>I.8.1 Effet du trafic</i>	<i>12</i>
<i>I.8.2 Effet de la température</i>	<i>13</i>
<i>I.9 Qualités exigées d'un enrobé</i>	<i>14</i>
<i>I.9.1. La stabilité</i>	<i>14</i>
<i>I.9.2. La flexibilité</i>	<i>14</i>
<i>I.9.3 L'insensibilité à l'eau</i>	<i>14</i>
<i>I.10 Formulation des enrobés bitumineux</i>	<i>14</i>
<i>I.10.1 Composition granulométrique</i>	<i>14</i>
<i>I.10.2 Teneur en liant</i>	<i>15</i>
<i>I.11 Essais sur les enrobes bitumineux</i>	<i>16</i>
<i>I.12 Les Bitume Modifie A Polymère</i>	<i>21</i>
<i>I.12.1. Du pétrole au plastique</i>	<i>21</i>
<i>I.12.2. Définition du polymère :</i>	<i>22</i>
<i>I.12.3. La polymérisation</i>	<i>22</i>
<i>I.13. conclusion</i>	<i>23</i>

<u>Chapitre II</u>	<u>COMPACTAGES DES ENROBES BITUMINEUX</u>	
II.1	Introduction	24
II.2	Généralités :	24
II.3	Mesures de compacité sur enrobé	25
II.4	Les rouleaux	26
	II -4-1 Les rouleaux statiques	26
	II -4-2 Les rouleaux à vibrations verticales	28
	II -4-3 Les rouleaux mixtes	29
II -5	Conclusions	30
<u>Chapitre III</u>	<u>UTILISATION DES BITUMES MODIFIERS DANS LES CHAUSSES</u>	
III.1	Introduction	31
III. 2	Domaine D'utilisation	31
III. 3	Domaines d'emplois des bitumes modifiés	31
III. 4	Rôle du bitume dans la chaussée	32
	III. 4 .1 La couche de base	32
	III. 4 .2 La couche de liaison	32
	III. 4 .3 La couche de roulement	32
<u>Chapitre IV</u>	<u>CONCLUSIONS CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISÉS</u>	33
IV.1	Introduction	34
IV.2	CARACTERISTIQUES DES AGREGATS UTILISES	34
IV.3	CARACTERISTIQUES DU BITUME UTILISE	37
IV.4	DESCRIPTION DES MELANGES ETUDIÉS	38
IV.5	DETERMINATIONS DES MELANGES A ETUDIER	38
IV.6	Détermination des teneurs en bitume:	40
IV.7	Conclusions	40
<u>Chapitre V</u>	<u>ESSAIS PCG SUR LES ENROBES FORMULE</u>	
V.1.	Principe d'essai PCG	41
V.2.	Réalisation d'essai PCG	42
V.3.	Type des compacteurs giratoires	43
V.4.	Expression des résultats de PCG	45
V.5.	Préparation de mélange d'essai PCG	46
V.6.	Les résultats d'essai PCG	47
	V.6. 1 Les résultats d'essai PCG du Mélange (01)	47
	V.6. 2 Les résultats d'essai PCG du Mélange (02)	48
V.7.	Discussions Et Les Résultats d'Essai PCG:	50
	Conclusions	51
<u>LES ANNEXE</u>		
	ANNEXE A : COURBE GRANULOMETRIQUE	52
	ANNEXE B : Rapport De LTPS Sur D'essai De PCG Des Mélanges	53

INTRODUCTION

Les routes, ainsi que les ponts, sont parmi les facteurs les plus importants affectant le développement de l'économie du pays. Le besoin d'améliorer ou d'optimiser la durabilité des chaussées routières, tant lors de la conception des chaussées neuves que lors de la maintenance des chaussées routières déjà existantes, est un souci majeur des gestionnaires de réseaux routiers. Dans cette optique, l'évaluation des performances des enrobés bitumineux, à long terme, au travers d'essais de laboratoires pertinents s'avère indispensable.

Afin de satisfaire aux critères de durabilité des revêtements routiers, il conviendra de sélectionner une gamme d'essais qui permettront d'évaluer de façon satisfaisante la performance des mélanges bitumineux constituant le revêtement des chaussées.

Le mélange bitumineux est l'un des composants les plus importants utilisés dans la construction des routes. La formulation des mélanges est, à ce titre, déterminante pour l'obtention d'enrobés bitumineux performants.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre présente étude, à savoir dans le cadre de l'ajustement des ingrédients du mélange. D'où nous avons changé le type de bitume ordinaire 40/50 par un bitume modifié à polymères.

La méthodologie suivie dans cette étude s'articule sur deux axes principaux, premier axe porte sur l'étude bibliographique, qui se divise en trois chapitres;

- Le premier chapitre traite le bitume, ces composants naturels, ces types, sa méthode de fabrication, ainsi que du bitume modifié à polymères.
- Le deuxième chapitre traite la méthodologie de compactage de l'enrobé bitumineux.
- Le troisième chapitre traite de l'utilisation du bitume modifié dans les Routes.

Et le deuxième axe porte sur l'étude expérimentale **etv** se compose également de trois chapitres;

- Le premier chapitre aborde les propriétés des matériaux utilisés dans le mélange bitumineux, ici nous l'appelons bitume, gravier 8/15 et 3/8 et sable concassé 0/3.
- Le deuxième chapitre traite de l'analyse des Essais PCG sur les enrobés formulés.
- Le dernier chapitre est consacré aux analyses et discussions des résultats de l'expérience PCG

Chapitre I

LES BITUMES

I.1. Introduction :

Un enrobé bitumineux est un mélange uniforme de granulats enrobés de bitume.

Asphalte : roche calcaire imprégnée de bitume. Expression qui désigne le revêtement des routes.

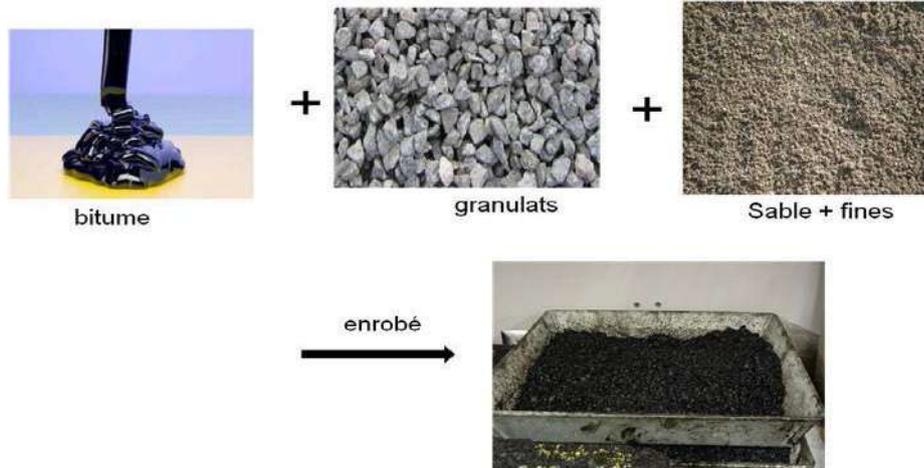


Figure I.1 : mélange enrobé bitumineux

Bitume : composé de carbone et d'hydrogène, d'où le nom d'hydrocarbure. Il peut être d'origine naturelle ou provenir de la distillation du pétrole.

Goudron : Produit provenant de la distillation de diverses substances : charbon, bois, tourbe. Il est moins soluble que le bitume. [1]

I.2. Origine des bitumes

I.2.1. Bitumes naturels :

Les bitumes naturels sont extraits des pétroles bruts, complètement dépourvus de fractions légères et contenant un certain pourcentage de matière minérale

Le plus connu est certainement le « bitume de Trinidad » provenant d'un lac de bitume situé dans l'île de Trinidad (Antilles britanniques). On peut citer également la Gilsonite (Utah, Colorado) qui est un bitume pur, très dur, utilisé non pas pour la route mais pour les peintures, les accumulateurs, et les carreaux d'asphalte ; il y'a également l'Elaterite, l'Albertite (Canada), infusibles et extrêmement durs.



Figure I.02 : Morceau de bitume provenant d'un gisement naturel en bordure de la mer morte



Figure I.03 : Gisement de bitume naturel (LAKE ASPHAL Trinidad)

I.3. Bitumes artificiels

Le bitume est la fraction la plus lourde du pétrole brut, constituée de molécules hydrocarbonées les plus longues. La composition schématique d'un pétrole brut peut être ainsi représentée :

Tableau I.01 : Composition schématique d'un pétrole brut

Gaz
Carburant
Gaz-oil
Fuels :
- Domestique
- Fluide
- lourde
Bitume

Dans cette composition, le pourcentage d'un bitume peut varier dans de très grandes proportions, il peut être : - Faible voire nul, ce qui rend son extraction non rentable sur le plan industriel (cas des pétroles algériens et ceux du moyen orient). -Très élevé, il peut atteindre les 70 à 80 % dans certains pétroles de l'Amérique latine (Venezuela), il peut atteindre pratiquement 100 % dans les bitumes naturels. [1]

I.4. Constituants d'un enrobé bitumineux :

I.4.1 Granulats :

Les granulats représentent près de 95 % d'un enrobé bitumineux. Il est donc important de bien les caractériser afin de faire un choix optimal lors de la formulation et de la fabrication d'un enrobé performant. Granulat est un matériau granulaire utilisé en construction ou bien est un ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm, qui participe intimement aux performances et à la durabilité des ouvrages.

I.4.2 Caractéristiques physiques et propriétés des granulats

Nous citons quelques essais de laboratoire permettant de déterminer certaines caractéristiques mécaniques des granulats :

- **Résistance à la fragmentation (chocs) :**

Elle est mesurée par le coefficient "Los Angeles". Cette mesure est destinée à évaluer la résistance des granulats à la fragmentation sous l'action du trafic.

- **Résistance à l'attrition et à l'usure :**

L'essai utilisé est le Micro Deval à sec ou en présence d'eau. Cette mesure ayant pour but de chiffrer l'usure qui se produit d'une part entre les gravillons dans une assise et d'autre part entre le pneumatique et le granulat à la surface des revêtements. Comme l'usure est très influencée par la présence d'eau, l'essai le plus représentatif est le Macro Deval en présence d'eau.

- **Résistance au polissage :**

Cet essai permet de chiffrer la résistance au polissage des gravillons utilisés pour les couches de surface. On utilise une machine à tambour sur lequel sont disposées des plaques support de granulat. [2]

Classification des granulats

Les granulats sont classés selon la plus grande dimension « D » et la plus petite « d » comme le tableau I.02 :

Tableau I.02 Classification des granulats

Classe de produit	Dimension en millimètre
Fine	0/D ou $D \leq 0,0063$
Sable	0/D ou $D \leq 6,30$
Gravillons	d/D ou $d \geq 2$ et $D \leq 31,50$
Cailloux	d/D ou $d \geq 2$ et $D \leq 820,00$
Graves	0/D ou $6,3 < D \leq 31,50$

Tableau I.03 : Caractéristiques exigées pour les granulats routiers

PL/j V/J dans les 2 sens à titre indicatif	Caractéristiques	Couche de liaison	Couche de roulement
T ₄ <25 [<500 V/j]	A IC LA MDE CPA P ES	≤ 30 ' ≤ 30 ≤ 25 ' ≤ 2 % ≥ 50	≤ 30 ≥ 60 % ≤ 25 ≤ 20 ≥ 0,45 (1) ≤ 2 % ≥ 50
T ₃ 25 à 150 [500 à 3000 V/j]	A IC ou RC LA MDE CPA P ES	≤ 30 IC=100 % ≤ 25 ≤ 20 ' ≤ 2 % ≥ 50	≤ 25 ≥ 2 ≤ 20 ≤ 15 ≥ 0,50 ≤ 2 % ≥ 50
T ₂ 25 à 150 [500 à 3000 V/j]	A RC LA MDE CPA P ES	≤ 25 ≥ 2 ≤ 25 ≤ 20 ' ≤ 2 % ≥ 50	≤ 20 ≥ 2 ≤ 20 ≤ 15 ≥ 0,50 ≤ 2 % ≥ 50
T ₁ 300 à 750 [6000 à 15000 V/j]	A RC LA MDE CPA P ES	≤ 20 ≥ 2 ≤ 25 ≤ 20 ' ≤ 2 % ≥ 50	≤ 20 ≥ 4 ≤ 20 ≤ 15 ≥ 0,50 ≤ 2 % ≥ 50
T ₀ >750 [>15000 V/j]	A RC LA MDE CPA P ES	≤ 20 ≥ 4 ≤ 25 ≤ 20 ' ≤ 2 % ≥ 50	≤ 20 ≥ 4 ≤ 15 ≤ 15 ≥ 0,50 ≤ 2 % ≥ 50

(1) : On pourra admettre 0,40 comme minimum absolu lorsque la vitesse est limitée à 60 km/h.

PL/j: Poids lourds par jour

V/j: Véhicules légers par jour

A: Aplatissement

IC: Indice de concassage

RC: Rapport de concassage

LA: Los Angeles

MDE: Micro Deval en présence d'eau

CPA: Coefficient de Polissage Accéléré

P: Propreté superficielle des granulats

ES: Équivalent de Sable

1.4.3 Les fines d'apport

Lorsque la teneur en fines (éléments inférieurs à 0,08 mm) apportées par le sable de concassage ou de broyage entrant dans la composition des enrobé bitumineux s'avère

insuffisante, il faut prévoir l'addition de fines d'apport. Pour caractériser la qualité de ces fines ainsi que celles issue du sable, il convient d'utiliser les essais définis par les règlements en vigueur et de respecter les valeurs minimales imposées.

I.4.4 les liants hydrocarbonés :

Les liants hydrocarbonés utilisés pour des chaussées font appel à des ressources diversifiées .bitume, goudron et émulsions de bitume . Un liant hydrocarboné est un liant organique constitué d'hydrocarbures, c'est-à-dire essentiellement à base de carbone et d'hydrogène, auxquels s'ajoutent l'oxygène, et le soufre. [5]

I.4.5 Classification des liants hydrocarbonés:

▪ **Classification des liants hydrocarbonés :**

L'ensemble des liants hydrocarbonés comprend trois groupes principaux :

- Les bitumes et leurs dérivés anhydres
- Les émulsions de bitumes
- Les goudrons

▪ **Bitume**

Ce sont des produits solides, semi-solides ou liquides comprenant le :

- Bitume pur : Obtenu par raffinage de butes pétroliers et ne comportant aucun ajout
- Bitume fluidifié : Bitume mélangé avec un diluant plus ou moins volatil, provenant de la distillation du pétrole

▪ **Bitume fluxé**

Bitume ramolli par l'addition d'une huile de fluxage de faible volatilité provenant de la distillation du goudron de houille.

▪ **Bitume fluxé mixte**

Bitume pur dont on a diminué la consistance par incorporation de produits provenant de la distillation du pétrole pour au moins 50% des ajouts, et de la distillation du goudron de houille.

▪ **Bitume composé**

Comportant au moins 50% de bitume et se subdivisant en :

- Bitume-goudron : mélange de bitume pur et de godron de houille.
- Bitume -brais : mélange de bitume pur et de brais de houille. Les goudrons ont une température d'équiviscosité (TEV) <60 °C ou un point de ramollissement (BA) < 40 °C

▪ **Bitume modifié**

Bitumes précédents avec ajout de substances le plus souvent macromoléculaires autres que les fines minérales ou les additifs d'adhésivité.

✓ **Emulsions de bitume**

L'émulsion de bitume est une dispersion de bitume dans l'eau formée par emploi d'une énergie mécanique de cisaillement de liant et d'un agent tensio-actif mécanique .les liant de base peuvent être des bitumes purs ou modifiés, éventuellement fluidifiés fluxés.

✓ **Goudrons**

Ils ont pour origine la cokéfaction à haute température du charbon, et sont obtenus par reconstitution à partir de brai et de coupes d'huiles provenant du traitement du goudron de houille. On distingue :

- Goudron pur : sans ajout.
- Goudron modifié : comportant des substances le plus souvent macromoléculaires autres que fines minérales ou les additifs d'adhésivité. ils comprennent les goudrons vinyliques et le goudron styrène, les premiers ne faisant pas l'objet de spécifications.
- Goudron composé : comportant plus de 50% de Goudron et du bitume pur, et ne faisant l'objet ni de classification ni de spécification.

I.5. Fabrication du bitume

Pour fabriquer des bitumes de spécifications données, la première condition consiste à choisir un pétrole brut suffisamment lourd, autrement dit, celui qui présente après distillation atmosphérique une quantité de résidu (brut réduit) la plus importante. Il est à signaler que sur les 1300 pétroles bruts référencés dans le monde, 10% sont aptes à donner des bitumes respectant les spécifications d'usage.

Selon les diverses origines de ces pétroles, il a été adopté des méthodes particulières de fabrication pour obtenir des produits bitumineux de qualité. Il existe quatre méthodes de fabrication des bitumes :

I.5.1 La distillation

C'est un procédé physique d'évaporation des constituants volatils où la phase vapeur est éliminée et condensée, il reste en fond de colonne du bitume. On distingue deux procédés de distillation :

1) Distillation à la pression atmosphérique

C'est une méthode simple mais qui peut nécessiter en fonction de la base à traiter de hautes températures pouvant engendrer des dégradations des produits par surchauffe. Ce procédé n'est utilisé que pour retirer les produits légers (essence, kérosène).

2) Distillation sous vide

Cette opération est nécessaire pour obtenir des produits lourds, donc on commence par la distillation sous pression atmosphérique de brut choisi. Le fond de la colonne est alors envoyé à la distillation sous vide qui consiste à la séparation des différents constituants en jouant sur les paramètres : débit, pression et température. La pression réduite qui règne à l'intérieur de la tour est destinée à poursuivre la séparation physique des constituants sans les dégrader thermiquement. Plus on distille, plus le bitume obtenu est dur et plus sa pénétrabilité est faible.

A- L'extraction (Désasphaltage)

Ce procédé consiste à fabriquer un bitume par solubilité du fond de la distillation sous vide dans un solvant (le propane et le butane), donc ce procédé est utilisé comme complément de la distillation. Après extraction du résidu sous vide, on obtient : · Un bitume, · Une base pour lubrifiant de haute qualité. Les bitumes de désasphaltage sont en général susceptibles à la température.

B- Le Soufflage

Cette opération consiste à injecter de l'air dans le résidu de la distillation sous vide sous des températures comprises entre 250 et 300°C.

Le but de ce procédé est d'obtenir des bitumes plus durs accompagnés d'une diminution de la susceptibilité à la température. Dans la pratique, on distingue :

- Le semi – soufflage qui consiste à traiter un fond de colonne sous vide, trop mou pour en faire un bitume routier,

· Le soufflage d'une base plus complexe pour obtenir des bitumes industriels très peu susceptibles à la température (utilisés par exemple dans les revêtements de toiture),

C- Le Craquage

Le craquage est un traitement des fonds de colonne sous vide à des hautes températures comprises entre 450 et 500°C et à des pressions allant de 2 à 25 bar. Dans ces conditions, certaines grosses molécules des fractions lourdes se craquent pour former des molécules plus petites, tandis que les plus stables résistent au traitement. Ces bitumes n'ont pas d'application routière.

Fabrication des bitumes par raffinage du pétrole (schéma de principe)

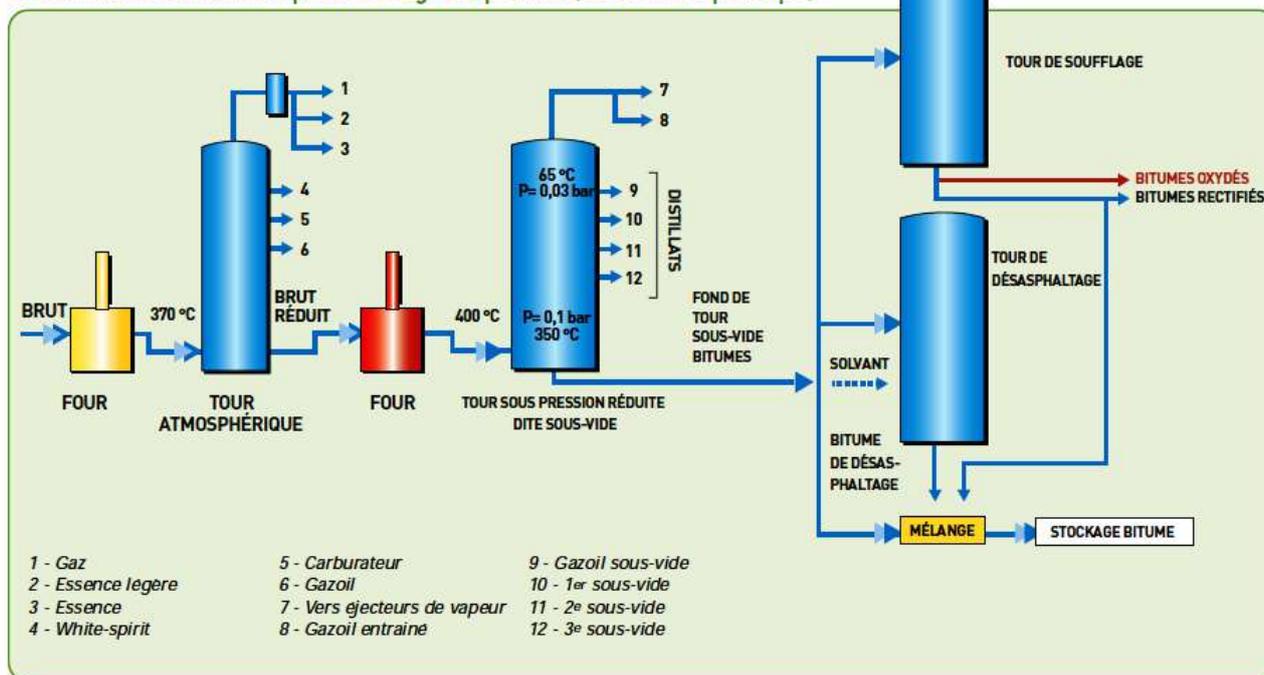


Figure I.07: - Fabrication du bitume

I.6 Les essais de caractérisation des bitumes.

Pour caractériser un bitume plusieurs essais sont utilisés.

I.6.1 es essais classiques

Parmi lesquels on peut citer:

-1 Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF T 66-004) [40] C'est la mesure de la pénétration (exprimée en dixièmes de millimètres) dans un échantillon de bitume, au bout d'un temps de 5 secondes, d'une aiguille dont le poids avec son support est de 100g, et à 25°C. Dans ces conditions, plus un bitume est dur, plus sa pénétration est faible.

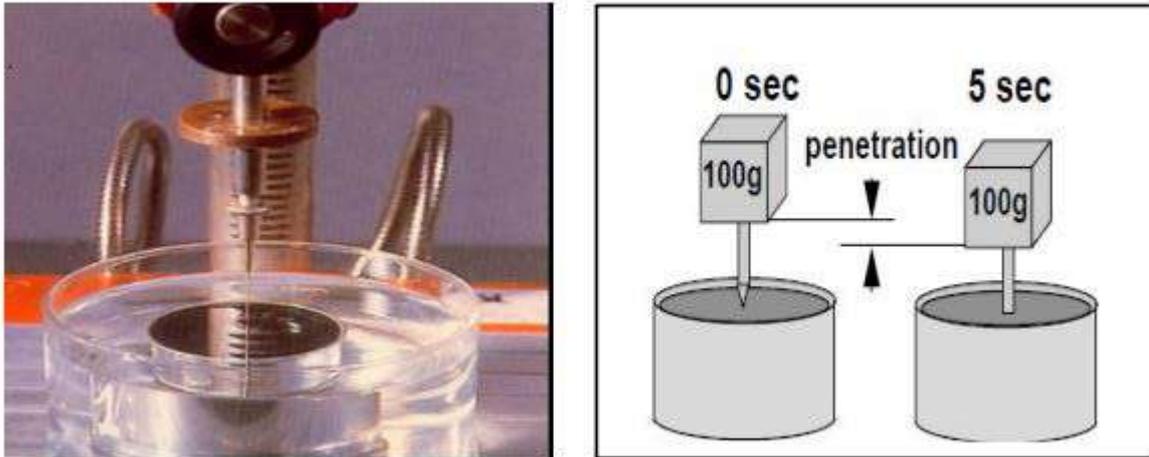


Figure I.05: Essai de pénétrabilité pour le bitume

I.6.2 point de ramollissement bille et anneau (NF T 66-008)

L'essai consiste à déterminer la température (notée TBA) pour laquelle une bille d'acier normalisée traverse un échantillon de bitume maintenu dans un anneau métallique. Il caractérise la consistance du matériau : plus la température bille et anneau est faible, plus le bitume est susceptible .

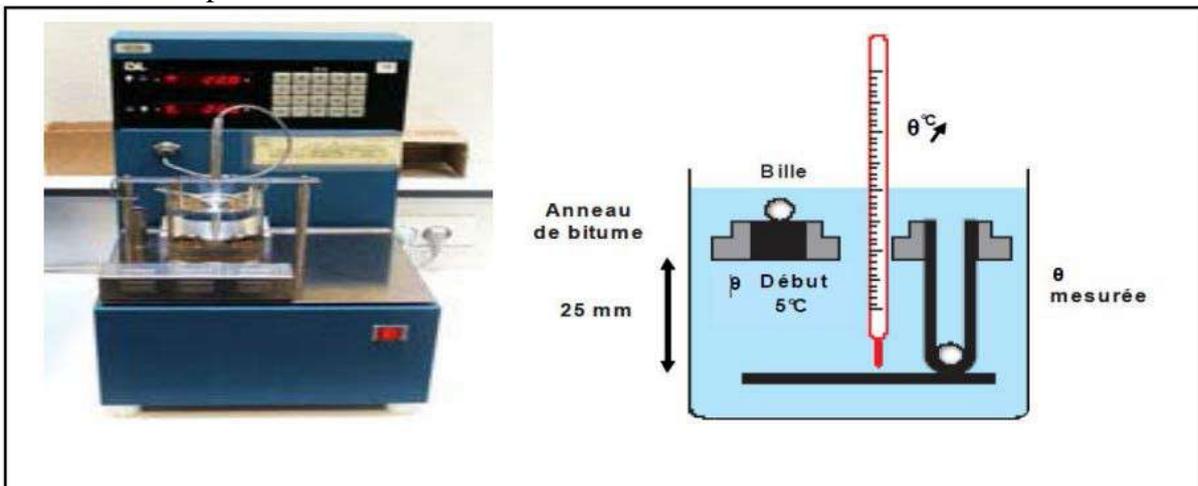


Figure I.06 Détermination du point de ramollissement

I.6.3 'essai :RTFOT "Rolling Thin Film Oven Test" (NF T 66-032)

Cet essai est employé pour caractériser le vieillissement des bitumes à l'enrobage. En effet, lors de la fabrication d'un enrobé, les granulats chauffés aux environs de 160°C sont mis en contact avec le bitume chaud qui répartition en film mince autour du granulat, ce contact induisant un vieillissement du liant. Pour l'essai RTFOT, dans des conditions d'essai précises, le bitume placé en film mince, est régulièrement exposé à un flux d'air chaud dont le débit est contrôlé. On mesure ensuite les propriétés habituelles du liant : pénétrabilité et température de ramollissement bille et anneau. Ces valeurs, dites après RTFOT, sont alors comparées aux valeurs initiales. Elles sont plus proches de celles du liant extrait de l'enrobé, que celles obtenues sur le bitume d'origine.

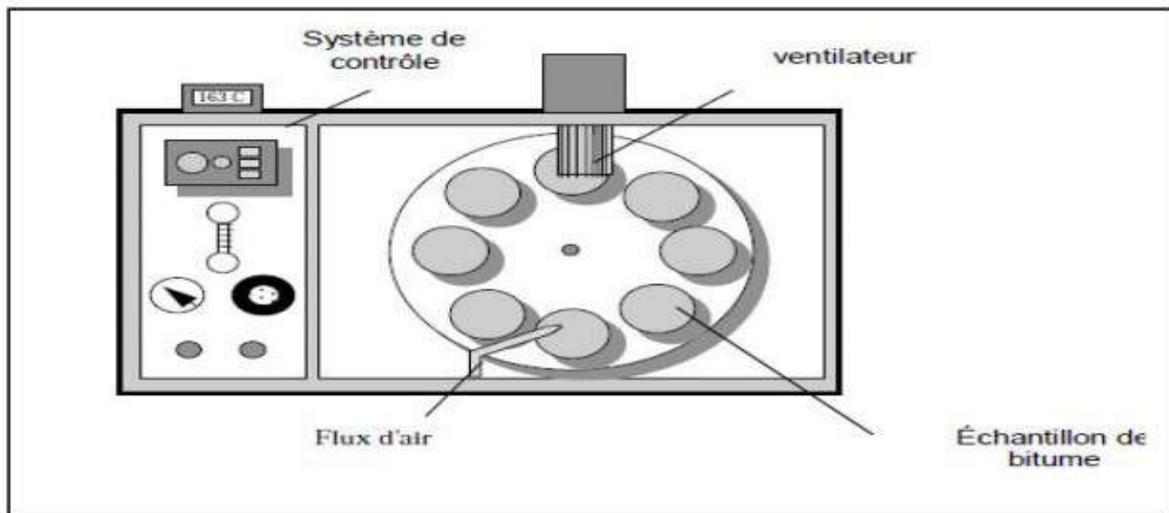


Figure I.07: L'essai RTFOT

I.6.4 point de fragilité

Il correspond à la température à laquelle un film de bitume déposé sur une lamelle d'acier se fissure lorsque l'on plie cette lamelle à basse température. Il caractérise la fragilité du liant à basse température. Les valeurs obtenues lors de ces des spécifications sur les bitumes. Ceux gamme donnée de valeurs de pénétrabilité à 25°C :

- 10/20 bitume dur (non normalisé),
- 20/30 bitume dur (normalisé),
- 35/50 et 50/70 bitumes semi-durs,
- 70/100 et 180/220 bitumes mous

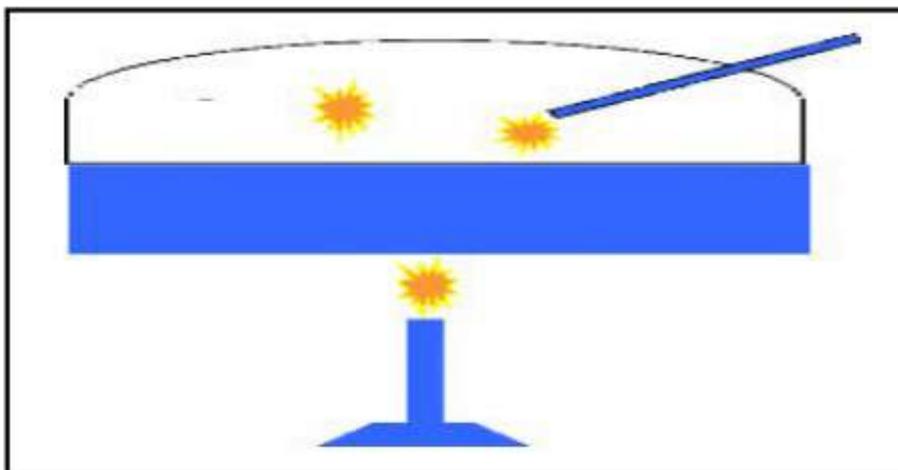


Figure I.08: Essai du point d'éclair

I.6.5 ssai de ductilité (NF T 66-006) :

La ductilité d'un matériau bitumineux est l'allongement qui le caractérise avant qu'il se rompe, lorsqu'on l'étire, à une vitesse spécifiée et à une température donnée. La vitesse de l'essai est de 5 cm/min \pm 5%.

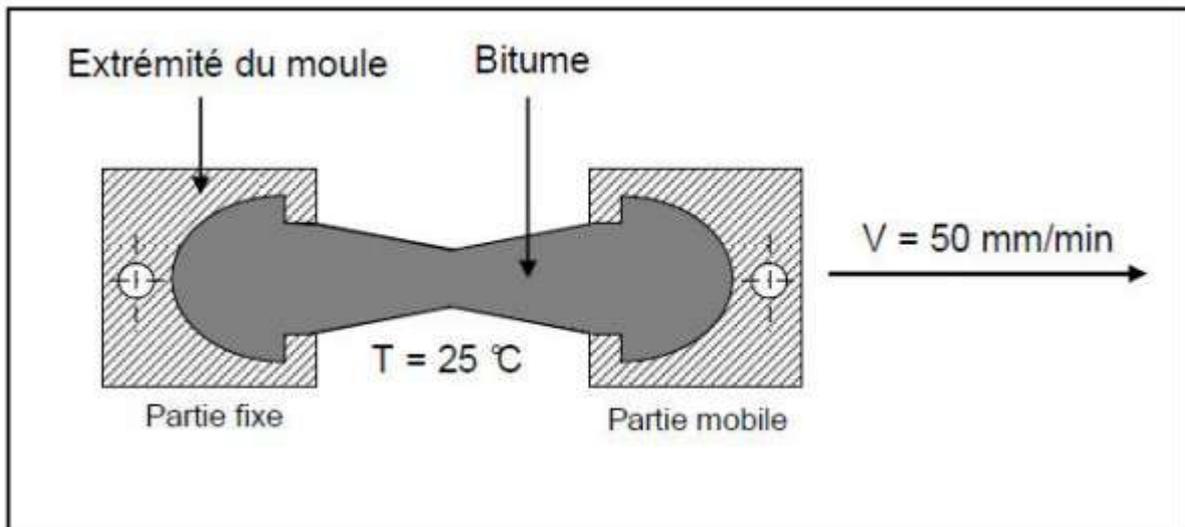


Figure I.09 : Principe de l'essai de Ductilité

I.6.6 Essais mécaniques

L'objectif poursuivi était de pouvoir relier les caractéristiques des liants mesurés en laboratoire aux performances des liants dans l'enrobé sur chaussées. Quatre essais ont été choisis dans ce programme, ces essais sont présentés dans le tableau I.04

Tableau I.04: les essais mécaniques sur les liants

Type de l'essai	But de l'essai
Dynamic Shear Rheometre (DSR)	Mesurer les propriétés du liant à hautes et moyennes températures
Rotational Viscometre (RV)	Mesurer les propriétés du liant à hautes températures
Bending Beam Rheometer (BBR) (Essai de flexion de poutre)	Mesurer les propriétés à Basse températures
Essai de traction directe (DTT)	Mesurer les propriétés à Basse températures

SHRP classe ces essais selon la température de l'enrobé et selon le phénomène à étudier. Ce classement est présenté dans la figure 4.

DTT – BBR : fissuration à basse Température.

DSR (petits échantillons) : Fissuration par fatigue.

DSR (grands échantillons) : Phénomène d'orniérage.

RV : Construction.

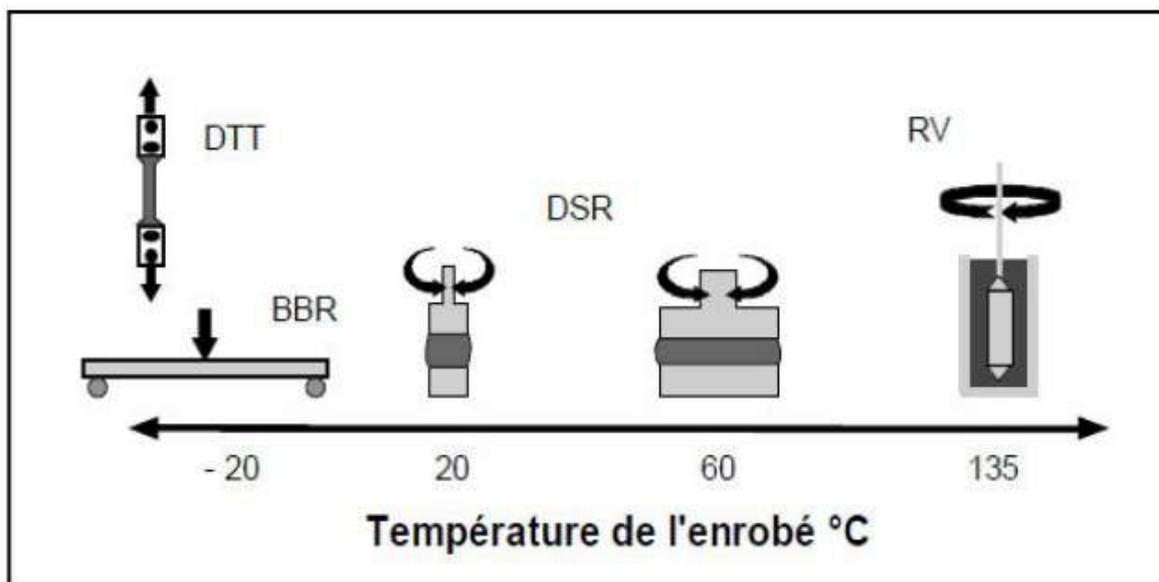


Figure I.10: classement des essais mécaniques sur le liant

I.7 Classification des enrobés hydrocarbonés

Dans le domaine très vaste des enrobés hydrocarbonés et vues leur composition et destination possibles, on a introduit une classification basée essentiellement sur le mode de fabrication et la compacité.

➤ D'après le mode de fabrication On distingue :

- **Les enrobés à chaud :**

caractérisés par un passage des granulats dans un tambour sécheur pour les chauffer et les sécher. Le liant utilisé peut être un bitume pur, fluxé ou fluidifié, un goudron ou un liant composé, mais le plus souvent un bitume pur.

- **Les enrobés à froid :**

préparés à partir de granulats qui ne sont pas passés dans un tambour sécheur. Le liant utilisé peut être un bitume fluxé ou fluidifié, un goudron ou une émulsion.

➤ D'après la compacité.

On distingue :

- **Les enrobés denses :** Dans lesquels le pourcentage des vides est inférieur à 10%. Les enrobés denses de haute qualité sont caractérisés par des spécifications plus sévères en ce qui concerne la qualité des granulats, la viscosité du liant, la courbe granulométrique, les performances mécaniques et le soin apporté à la fabrication.
- **Les enrobés semi-denses :** dans lesquels le pourcentage des vides est compris entre 10et15%.
- **Les enrobés ouverts :** dans lesquels le pourcentage des vides est supérieur à 15 %.

I.8 Influence des actions appliquées à la chaussée

I.8.1ffet du trafic :

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. Le calcul des efforts et déformations

qui apparaissent nécessaire, en premier lieu, la connaissance du module complexe et éventuellement du coefficient de Poisson.

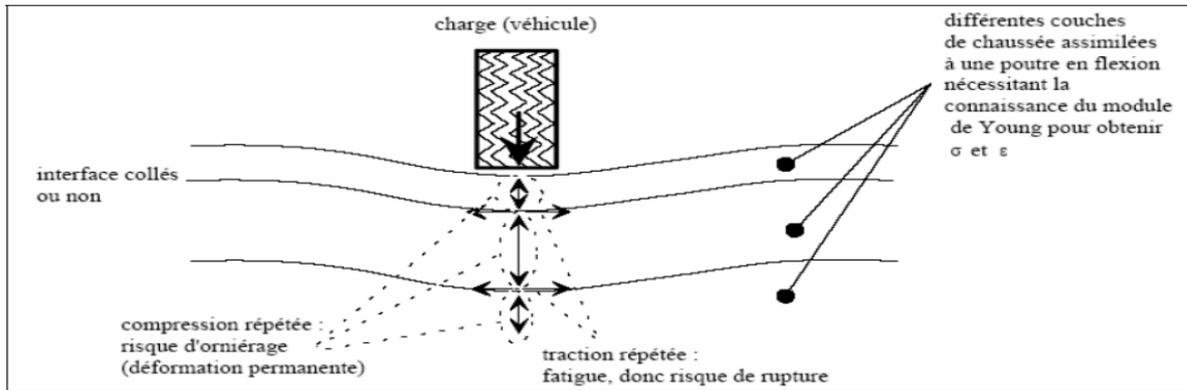


Figure I.11 : Schématisation des sollicitations induites par le trafic

Les tractions répétées à la base des couches, sous l'effet du passage des véhicules, créent des micro-dégradations qui s'accumulent et peuvent entraîner la ruine du matériau. Il s'agit du phénomène de fatigue qui s'observe pour de nombreux matériaux. Une fissure peut également apparaître et se propager dans la chaussée.

Les compressions répétées sous le passage de la charge peuvent créer des déformations permanentes qui induisent parfois un orniérage à la surface de la chaussée. Cet orniérage peut être dû au tassement des couches de béton bitumineux mais aussi éventuellement aux déformations de couches inférieures non traitées.

Nous pouvons également souligner qu'en raison des propriétés particulières apportées par le liant bitumineux, les enrobés possèdent un comportement (donc un module) fortement dépendant de la température et de la vitesse de chargement.

I.8.2 effet de la température

Les chaussées subissent des chargements consécutifs aux variations de la température. Ces variations thermiques entraînent des changements de la rigidité du mélange : à température basse le mélange bitumineux est rigide et fragile tandis qu'à haute température la rigidité du mélange chute et sa ductilité augmente.

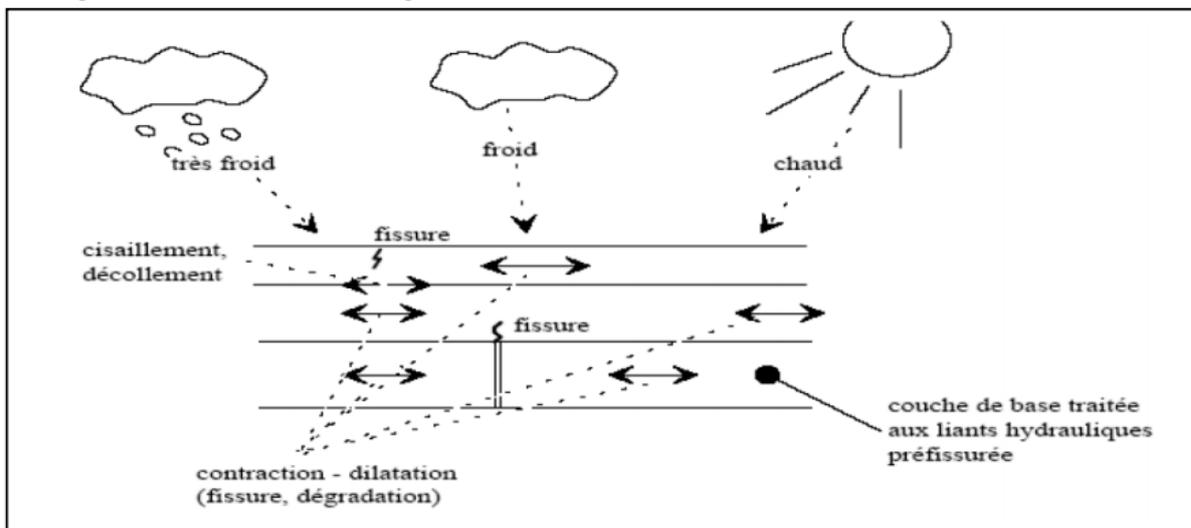


Figure I.12 : Schématisation des sollicitations induites par la température.

I.9 Qualités exigées d'un enrobé

Les qualités essentielles qu'un enrobé doit avoir sont :

I.9.1. La stabilité

La stabilité d'une couche d'enrobé est la résistance à la déformation permanente de la couche sous l'effet des charges statiques et dynamiques. Une stabilité insuffisante de la couche face à un trafic important conduit à un fluage avec dépressions, à des ornières et à des ondulations. La stabilité augmente avec l'angle de frottement interne des granulats et la dureté du liant ; ce qui explique la tendance actuelle pour l'emploi des bitumes durs (20/50) et des granulats durs et anguleux pour la formulation des enrobés bitumineux pour chaussées à trafic lourd.

I.9.2. La flexibilité

C'est l'aptitude à admettre sans fissuration, les déformations d'ensemble qui peuvent être imposées à la couche d'enrobé par la déflexion des couches inférieures. L'insuffisance de la flexibilité se traduit par des fissures sur le tapis. La flexibilité dépend en premier lieu de la ductilité du liant qui doit demeurer acceptable aux basses températures et pendant toute la durée de vie de l'enrobé. La viscoélasticité du liant conduit à un enrobé stable et flexible en restant visqueux en été et pas fragile (cassant) en hiver.

I.9.3 L'insensibilité à l'eau

L'insensibilité à l'eau et l'imperméabilité sont des caractéristiques que doit avoir l'enrobé bitumineux. Pour cela, on utilise souvent des dopes pour améliorer l'affinité entre le liant et les granulats et permettre à l'enrobé de mieux résister au désenrobage sous l'action de l'eau. L'enrobé employé en couches de surface doit posséder des propriétés particulières telles que la résistance aux efforts tangentiels et aux efforts de poinçonnement, ainsi que la rugosité. Ceci exige donc des granulats qui ne se polissent pas facilement sous l'action de la circulation et qui gardent des arêtes au contact des pneumatiques.

I.10 Formulation des enrobés bitumineux

Nous nous intéressons ici aux matériaux traités aux liants hydrocarbonés à chaud, enrobés bitumineux, graves et sables bitume, qui résultent du mélange de granulats et de liant hydrocarboné avec éventuellement des additifs, dosés, chauffés et malaxés en centrale. Pour étudier une formulation pour une couche de chaussée, trois étapes s'avèrent essentielles : La composition granulométrique, la teneur en liant et les caractéristiques de l'enrobé.

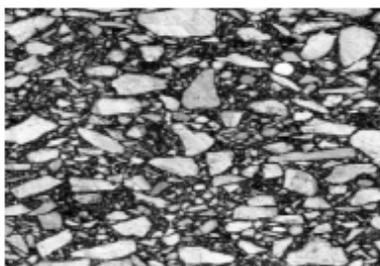


Figure I.13. Matériaux bitumineux

I.10.1 Composition granulométrique :

La composition granulométrique est définie pour chaque catégorie d'enrobé hydrocarboné, par les pourcentages de passant aux tamis, indiqués dans le tableau ci-après

Tableau I.05 : Composition granulométrique courbe de départ

Nom	GB, EME			EME			BBSG, BBME, BBS					
type ou classe (Cl)												
0/D	0/14 ou 0/20			0/10			0/10			0/14		
discontinuité												
Roul./Liaison												
	mini	visée	maxi	mini	visée	maxi	mini	visée	maxi	mini	visée	maxi
14 mm												
10 mm								97			78	
6,3 mm	45	53	70	45	55	65	45	57	68	47	52	58
4 mm	40	47	60		52			52			47	
2 mm	25	33	38	28	33	38	27	34	39	25	31	35
0,063mm	5,4	6,7	7,7	6,3	6,7	7,2	6,3	6,7	7,2	6,3	6,7	7,2

BBDr				BBTM						BBM A				
classe 1		classe 2		classe 1		classe2		classe 1		classe2		(2)		
0/10	0/6	0/10	0/6	0/10D	0/6D	0/10D	0/6D	0/10C	0/6 C	0/10C	0/6 C	0/10D	0/14D	0/14D
				2/6	2/4	2/6	2/4					2/6	2/10	4/10
													97	97
												97	35	35
13		8		30		25		30		30		35		
					30				34		34			35
13	10à 13	8	5	30	31	23	25	25	30	23	25	31	35	
3,5	3,5	3,5	3,5	7	7	5,5	7	7	7	7	7	7	7,2	7,2

- GB : Grave bitume (NFP98-138) Nov 1999 (NF EN 13108-1)
- EME : Enrobé à module élevé (NFP98-140) Nov 1999 (NF EN 13108-1)
- BBSG : Béton bitumineux semi-grenu (NFP98-130) Nov, 1999 (NF EN 13108-1)
- BBME : Béton bitumineux à module élevé (NFP98-141) Nov, 1999 (NF EN 13108-1)
- BBDr : Béton bitumineux drainant(NFP98-134) Juin 2000 (NF EN 13108-7)
- BBM : Béton bitumineux mince (NFP98-132) Juin 2000 (NF EN 13108-1)
- BBTM : Béton bitumineux très mince(XP P98-137) Mai 2001 (NF EN 13108-2)
- SMA : Stone Mastic Asphalt (NF EN 13108-5)
- HRA : Hot Rolled Asphalt (NF EN 13108-4)
- BBA : Béton bitumineux aéronautique (NFP98-131) Nov, 1999 (NF EN 13108-1)

I.10.2 Teneur en liant

Le liant bitumineux transmet naturellement son comportement viscoélastique à l’enrobé. Il faut donc définir une teneur en liant optimale afin d’assurer la cohésion du mélange et le bon enrobage de tous les grains du mélange par un film mince de bitume, et ce, tout en évitant des problèmes de fluage et d’orniérage trop prononcés à haute température (dans le cas d’une trop forte teneur en bitume).

Pour déterminer cette teneur en liant optimale, on introduit la notion de surface spécifique des granulats, notée (Σ) et exprimée en m² /kg, c’est-à-dire la surface développée qu’auraient les granulats assimilés à des sphères.

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d’avoir une approximation de la surface spécifique (Σ):

$$100 \Sigma = 0.17G + 0.33g + 2.3S + 2.3s + 135f$$

Avec

- G: pourcentage de gros gravillons ($\phi > 11$)
- g: pourcentage de petits gravillons ($\phi > 6/11$)
- S: pourcentage de gros sable ($\phi > 0.3/6$)
- s: pourcentage de sable fin ($\phi > 0.08/0.3$)

f: pourcentage de filler ($\phi < 0.08$) On voit que le pourcentage de filler est prépondérant en ce qui concerne la surface spécifique et donc la teneur en liant. Dans certains cas, on utilise la formule simplifiée suivante :

$$\Sigma = 2.5 + 1.3 f$$

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

$$P = \alpha k \sqrt{\Sigma}$$

Avec

P: teneur en liant(%)

α : facteur dépendant du type de granulats (2.65/masse volumique des granulats)

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

K: module de richesse (K variant de 2.75 pour les enrobés donnant le maximum de résistance à la déformation, à 3.5 pour les enrobés plus souples).

I.11 Essais sur les enrobés bitumineux

Parmi les essais de laboratoire utilisés sur les mélanges bitumineux on cite

1/ essai Duriez

Cet essai permet de connaître la tenue à l'eau d'un enrobé à chaud exprimé par un rapport des résistances à la compression avec immersion dans l'eau et à sec. Le mode de cet essai consiste à confectionner 12 petits moules cylindriques d'enrobés : 2 destinés à mesurer la masse volumique à la pesée hydrostatique, 5 conservés 7 jours à l'eau à 18°C et 5 conservés 7 jours à l'air. Après ce temps, les éprouvettes sont écrasées dans une presse hydraulique. La résistance à la compression simple = (charge d'écrasement)/(section de l'éprouvette). La résistance de l'éprouvette stockée en immersion est : " r " La résistance de l'éprouvette stockée à l'eau est : " R " . Le rapport r/R est le résultat du test qui donne la tenue à l'eau de l'enrobé et qui sera comparé à la norme en vigueur.

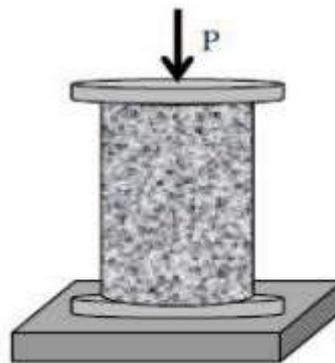


Figure I.14 Principe de l'essai Duriez

2/ Essai Marshall

Les enrobés bitumineux sont compactés dans des moules à l'aide d'une dame en vue de réaliser des éprouvettes cylindriques. Ces éprouvettes (température 60°C) sont placées entre les deux mâchoires semi - cylindriques d'une presse qui se rapprochent l'une de l'autre à une vitesse constante. Au cours de l'essai, la charge et la déformation sont enregistrées jusqu'à la rupture. Cet essai rentre dans la catégorie des essais empiriques à chargement unique qui, vue la complexité des sollicitations engendrées, ne permet pas la détermination d'une propriété intrinsèque du matériau. Il conduit à la détermination directe de deux grandeurs : le fluage (mm) et la stabilité Marshall (kN), deux grandeurs liées à la caractérisation empirique de l'orniérage.

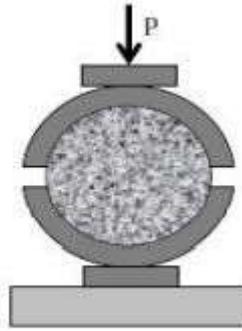


Figure I.15. Principe de l'essai Marshall

3/ Presse à Cisaillement Giratoire

L'essai de compactage à la PCG est une combinaison d'une force résultante axiale appliquée par une tête mécanique. L'essai permet de calculer le pourcentage des vides et la compacité à n rotations au moyen de l'éprouvette testée "hn". Il faut savoir qu'à l'éprouvette est de 150mm. Pourcentage des vides = $((hn_{150})/hn) \times 100$; Compacité $C = 100 - \% \text{ vides} = (150 \times 100)/hn$. L'essai PCG traduit la maniabilité de l'enrobé. En effet, plus la pente de la droite est forte, plus le matériau est maniable.

Cette caractéristique découle des normes qui exigent un certain pourcentage de vides à n rotations. La maniabilité est un facteur important puisqu'elle traduit la facilité de mise œuvre de l'enrobé sur le chantier.

Si les valeurs du pourcentage des vides sont conformes et favorable, continuer les essais DURIEZ et la plaque d'orniérage, dans le cas contraire, modifier la formule d'enrobé.

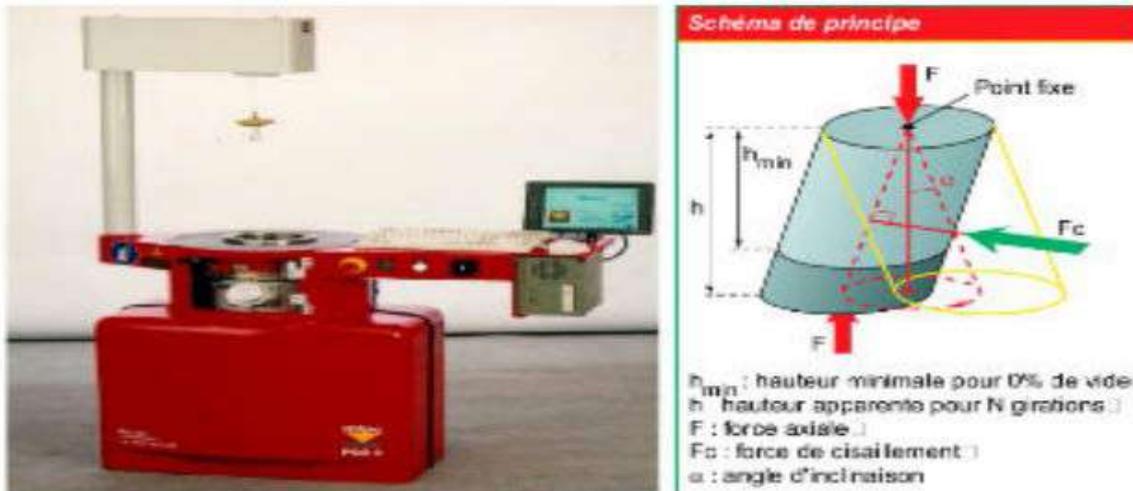


Figure I.16 Presse à cisaillement giratoire (PCG)

4/ L'essai de compression diamétrale

Les corps d'épreuve cylindriques sont des éprouvettes confectionnées à la Presse à Cisaillement Giratoire ou des carottes extraites de plaques. Une partie des éprouvettes est conservée sans immersion à température ambiante après un dégazage poussé pendant 70 h à 40 °C. Chaque groupe d'éprouvettes est écrasé en compression diamétrale à une température de 15 immersion à la résistance à sec donne la tenue à l'étude

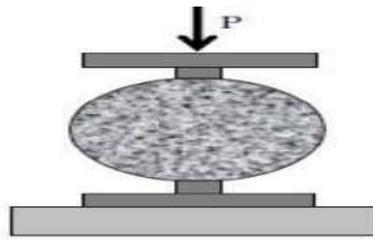


Figure I.17. Principe de l'essai de compression diamétrale

5/ L'essai d'orniérage

Le corps d'épreuve est une plaque parallélépipédique de 5 cm ou de 10 cm d'épaisseur, selon que l'épaisseur de mise en œuvre de l'enrobé soit inférieure ou supérieure à 5 cm. Cette plaque est soumise au trafic d'une roue équipée d'un pneumatique (fréquence : 1 Hz, charge : 5 kN, pression : 6 bars), dans des conditions sévères de température (60 °C). La profondeur de la déformation produite dans le passage de la roue, est notée en fonction du nombre de cycles. Les spécifications portent sur un pourcentage d'ornière à un nombre de cycles donné, qui dépend du type de matériau, et de sa classe.

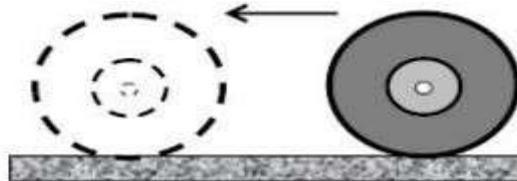


Figure I.18. Principe de l'essai d'orniérage

6/ L'essai de traction directe

Il s'agit d'un essai de traction à température constante et à vitesse de déformation constante. Au cours de l'essai, les paramètres mesurés sont la contrainte et la déformation. La contrainte maximale, encore appelée contrainte de rupture, et la déformation correspondante, donnent directement accès à la résistance en traction du matériau testé, pour les conditions d'essais (température, vitesse) considérées.

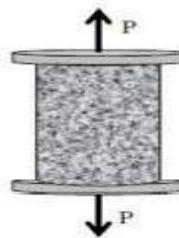


Figure I.19. Principe de l'essai de traction directe

7/ Essai de fluage statique uniaxial

L'essai consiste à charger axialement, avec une charge constante des éprouvettes cylindriques d'enrobés afin de déterminer la déformation résultante dans la direction de la charge (figure II.10). La déformation relative « ϵ » égale au rapport « $\Delta H/H$ » peut être représentée en fonction du temps

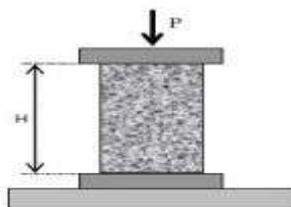


Figure I.20. Principe de l'essai de compression cyclique uniaxial sous confinement

8/ Essai de fluage dynamique

Cet essai consiste à déterminer la résistance à la déformation d'une éprouvette cyclique de mélanges bitumineux. L'éprouvette est préparée en laboratoire ou extraite de la chaussée. Une éprouvette cylindrique, maintenue à une température de conditionnement élevée, est placée entre deux pistons de chargement parallèles et plans. L'éprouvette est soumise à une contrainte de confinement « σ_c » à laquelle une contrainte axiale cyclique « $\sigma_a(t)$ » vient se superposer.

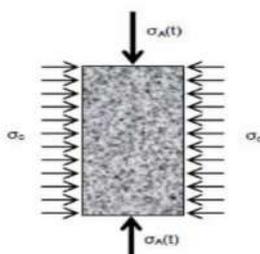


Figure I.21. Représentation des contraintes exercées sur l'éprouvette dans le cas d'un essai de fluage dynamique

9/ Essais de module

La rigidité du mélange est déterminée soit par un essai de module complexe (solicitation sinusoïdale sur éprouvette trapézoïdale) soit par un essai de traction directe (sur éprouvette cylindrique ou parallélépipédique). La charge est appliquée dans un domaine de petites déformations, en contrôlant le temps ou la fréquence, la température et la loi de chargement. Le module (rapport de la contrainte à la déformation) est calculé pour chaque essai élémentaire (température, fréquence). Grâce à l'équivalence temps-température, on trace la courbe maîtresse du module à une température donnée. Cette représentation permet de connaître le comportement du mélange sur un large spectre de temps de charge ou de fréquences. La spécification porte sur le module à 15 °C et une fréquence de 10 Hz ou un temps de charge de 0,02 s

10/ Les essais de fatigue

Cet essai permet d'étudier le comportement des enrobés bitumineux vis-à-vis de la fissuration ; il est pratiqué sur des éprouvettes de forme trapézoïdales.

L'éprouvette est encastrée à la base, sollicitée en tête en flexion sinusoïdale par déplacement imposé d'amplitude constante choisie afin de caractériser la rupture à un million de cycles.

L'essai est pratiqué à 10°C et à une fréquence de 25 Hz. La répétitivité des cycles de flexion alternée entraîne un endommagement de l'éprouvette (des fissures sont localisées). L'essai est conduit jusqu'à réduction de moitié de l'effort mesuré en tête, c'est le critère de la rupture. Les résultats obtenus sont reportés sur un diagramme (déformation - nombre de cycles à rupture).



Figure I.22. Essai de fatigue en flexion 2 points sur éprouvettes trapézoïdales

I.12 Les Bitume Modifie A Polymère

L'utilisation de matières plastiques remonte à l'antiquité plusieurs siècles av. J.-C ; les hommes utilisaient les propriétés plastiques de la corne, des écailles de tortue, de l'ambre, du caoutchouc, ... etc., chauffés et moulés pour fabriquer de nombreux objets.

À partir de la fin du XIXe siècle débute la mise au point de nouvelles matières : les plastiques semi synthétiques faits de polymères naturels modifiés chimiquement par des produits chimiques.

Les matières plastiques seront essentiellement fabriquées par la pétrochimie, à partir du pétrole ou du gaz naturel. Les usages sont très variés et entrent «dans les petits objets de la vie de tous les jours». Plus de 250 millions de tonnes de plastiques sont produits chaque année, essentiellement à partir de pétrole

I.12.1. Du pétrole au plastique :

Après avoir été extrait du sous-sol, le pétrole brut est envoyé dans une raffinerie pour séparer les différents constituants (raffinage). On obtient du fioul (utilisé pour le chauffage), du gazole, du kérosène et de l'essence (utilisés pour les transports) et du naphta.

Le naphta subit une importante étape de transformation (le craquage) permettant d'obtenir de petites molécules, les monomères (éthylène, propylène, styrène, butadiène, benzène, éthanol, acétone, ...) qui seront la matière de base des matériaux plastiques. Avec une réaction chimique de polymérisation, ces monomères s'assemblent et forment de longues molécules, les polymères (polyéthylène, polypropylène, polystyrène, ... etc.) qui sortiront de la raffinerie sous forme de granulés, de liquides ou de poudres.

En ajoutant des adjuvants et additifs à ces polymères, on obtient des matériaux plastiques variés à qui on donnera des formes variées (tuyau, pots, formes complexes, ... etc.) par moulage, extrusion, injection ou encore thermoformage dans les usines

Matières premières : HYDROCARBURES (pétrole brut par exemple)

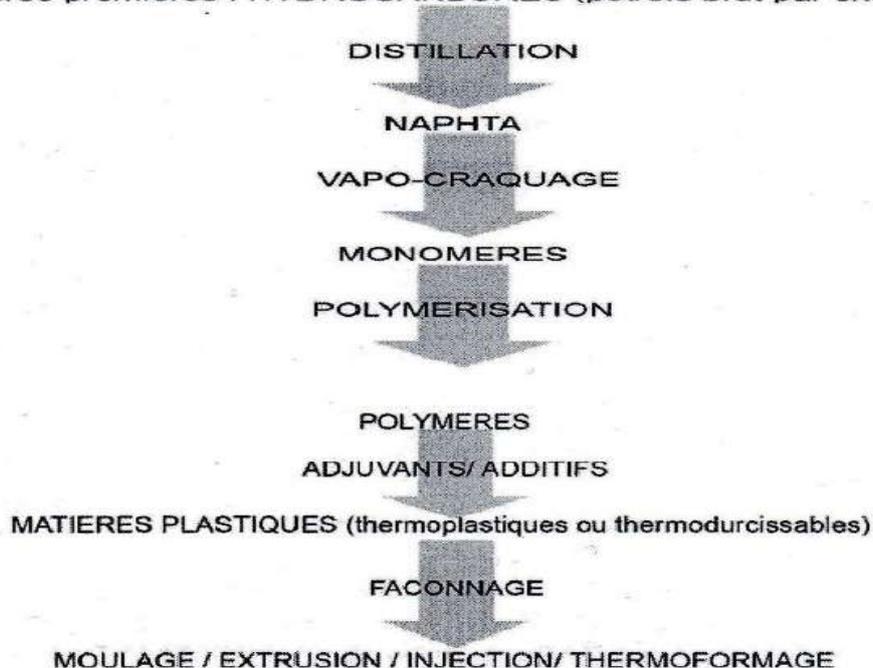


Figure 1.11.1. L'opération de transition du pétrole au plastique

I.12.2. Définition du polymère :

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs et « meros » parties soit « plusieurs parties » ou « plusieurs unités ».

C'est une substance généralement organique (composées essentiellement d'atome de carbone et d'hydrogène), liquide ou solide à température ambiante, de masse moléculaire élevée. Elle est caractérisée par la répétition d'un ou de plusieurs types de motifs monomères liés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Le nombre moyen de monomères dans un polymère est le degré de polymérisation.

Le haut polymère est celui dont le degré de polymérisation est élevé, si celui-ci est faible, le composé est une oligomère

Les polymères ou bien à partir de plusieurs industriels peuvent être fabriqués à partir d'un seul type de monomères, ils sont alors dits homopolymères, types de monomères et ils sont dits copolymères

I.12.3. La polymérisation :

La polymérisation est la réaction qui, à partir des monomères, forme en les liants des composés de masse moléculaire plus élevée, les polymères ou macromolécules.

Les noyaux des monomères sont le plus souvent constitués d'un atome de carbone (molécules organiques) ou d'un atome de silicium (polymères siliconés). Deux mécanismes entièrement différents sont utilisés pour la synthèse de polymères lors de la polymérisation :

- **Polymérisation par étape :** où la croissance des macromolécules est le résultat de réactions

chimiques classiques entre les groupements fonctionnels réactifs des monomères.

Une réaction de polycondensation avec libération d'un sous-produit de la réaction, (souvent de l'eau ...)

est une réaction de polymérisation par étape.

Polymérisation en chaîne: et résulte de la formation d'un centre actif A* qui fixe de façon successive de nombreuses molécules de monomère :



Le polymère obtenu présente un degré de polymérisation $n+1$.

Une réaction de polyaddition sans libération de sous-produit est une réaction de polymérisation en chaîne. Dans ce cas, le mécanisme implique généralement l'ouverture d'une double liaison (C=C, par exemple) ou l'ouverture d'un cycle.

Domaines d'utilisation des polymères :

- L'étanchéité ;
- Les réseaux de transport d'énergie ou de fluides;
- Les revêtements et les équipements routiers ;
- La protection des ouvrages par peinture ou revêtement plastique ;
- Les appareils d'appuis;
- Les gaines pour câble d'haubanage ou de précontrainte ;
- Les emballages ;
- Le cosmétique ;
- Les peintures et vernis ;
- Les films, fibres textiles et matériaux composites ;
- Les pneumatiques.

I.13. conclusion

Un enrobé est un mélange de graviers, de sable, et de liants, c'est un matériau routier, appliqué en une ou plusieurs couches, pour constituer le revêtement des chaussées. Les enrobés pour couche d'assise appartiennent soit à la famille des graves bitume (GB), soit à la famille des enrobés à module élevé (EME), ils permettent une diffusion suffisante des contraintes pour éviter une déformation permanente du sol support.

Chapitre II

COMPACTAGES DES ENROBES BITUMINEUX

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous discuterons de la méthode pratique de compactage des enrobes bitumineux, donnant les meilleurs résultats pour le compactage, et des méthodes nouvellement utilisées dans ce domaine, ainsi que des facteurs affectant le compactage.

II.2 Généralités :

Les buts visés par le compactage d'un enrobé sont :

- de densifier le matériau au pourcentage de vides optimal afin d'obtenir l'ensemble des propriétés mécaniques désirées du mélange bitumineux et d'assurer la durabilité du revêtement;
- de sceller la surface en la rendant uniforme afin d'assurer un bon uni avec des caractéristiques d'adhérence compatible avec la sécurité des usagers de la route.

Lorsqu'un enrobé mis en place à chaud est compacté correctement, le bitume et la fraction fine du mélange forment une matrice dans laquelle les gros granulats sont maintenus. [2]

Pour un enrobé traditionnel, le compactage adéquat se traduit par :

- un resserrement de la matrice granulaire de façon qu'il y ait contact entre les granulats;
- un pourcentage de vides d'environ 5 %, rendant le mélange à la fois stable et plus imperméable à l'air et à l'eau.

Pour assurer un compactage adéquat, il faut prêter une attention particulière au confinement du mélange et à la température de ce dernier. Sur le chantier, le confinement de la partie supérieure de l'enrobé est tributaire de la rigidité de la couche sous-jacente. La densification du mélange s'effectue par le passage des rouleaux, le confinement des côtés est assuré par la portion d'enrobé longeant la section à compacter. Ce mélange environnant doit résister aux pressions sans se déplacer. La résistance au déplacement est directement liée à deux facteurs : la friction entre les granulats et la température du liant.

Lorsqu'un mélange contient des granulats à surfaces lisses et arrondies, donc présentant moins de friction inter granulaire, le mélange a tendance à se déplacer sous le poids du rouleau plutôt qu'à se comprimer. Lorsque le mélange est trop chaud, le liant, trop lubrifiant, ne lie pas suffisamment les granulats; le mélange a aussi tendance à se déplacer sous le poids du rouleau. Lorsqu'il est trop froid, le liant, trop visqueux, ne permet pas de rapprocher les granulats entre eux; le mélange devient presque impossible à densifier adéquatement. Sauf dans des cas particuliers, le compactage ne peut être mené à bien lorsque la température du mélange est inférieure à 85°C. La température la plus propice à un compactage efficace se situe entre 85°C et 150°C à la surface de l'enrobé. Le thermomètre infrarouge est nécessaire, car il indique précisément la température de surface. La température de 85°C étant une température minimale, il convient de commencer la compaction du revêtement à une température plus élevée

Pour laisser suffisamment de temps aux rouleaux de terminer le travail. Ces températures peuvent varier légèrement selon la classe de bitume utilisée, Il est préférable d'utiliser les enrobés dont la température se situe le plus près possible de l'optimum, puisque le bitume devient plus fluide. Il possède alors les propriétés de lubrification qui permettent le compactage du mélange. En résumé, le compactage vise à bien densifier le mélange, à réduire la proportion de vides et à obtenir une surface de roulement uniforme.

Compacter le mélange adéquatement, à une température appropriée permet d'atteindre ces objectifs. [2]

II -3 Mesures de compacité sur enrobé

Il est important de noter qu'il faut faire la différence entre les propriétés de maniabilité et les propriétés de compactibilité des enrobés bitumineux. Ces deux propriétés peuvent souvent être confondues, mais si elles sont liées, elles n'en restent pas moins en très différentes. Au démarrage des enrobés tièdes, les deux propriétés étaient très souvent assimilées, sachant que la compactibilité sur enrobé est une caractéristique bien mesurée et fait partie de leur formulation alors que la maniabilité n'est à ce jour pas encore incluse dans la formulation des enrobés.

La presse à Cisaillement Giratoire (PCG), est aujourd'hui l'outil indispensable pour la formulation des enrobés à chaud et pour la détermination de leur compactibilité, parce qu'il est sensible au squelette granulaire et à la teneur en liant. Le principe de cet essai est le suivant : une masse d'enrobé à chaud est introduite dans un moule qui est lui-même placé dans la presse. Une force est appliquée sur l'échantillon d'enrobé qui subit une rotation autour d'un axe incliné d'un certain angle. Au fur et à mesure de l'essai, la hauteur de l'échantillon d'enrobé diminue et sa compacité augmente. L'évolution de cette compacité en fonction du nombre de rotations permet d'évaluer la compactibilité que l'enrobé aura sur chantier.

Presse à cisaillement giratoire et schéma de principe Des études ont décrit que ces essais de PCG sont insensibles aux abaissements de température. Ainsi Dony [Dony et al., 2010] montre sur des enrobés à chaud (fabriqués à 165°C) et des enrobés tièdes BBSG 0/10 avec et sans additif (fabriqués à 110°C) que les compacités évaluées à l'aide d'essais PCG sont identiques ou quasiment identiques pour les trois fabrications. Sans remettre en cause l'intérêt de la PCG dans la formulation des enrobés, cette étude démontre que la PCG valide le squelette granulaire et la teneur en liant dans l'enrobé, mais pas la température du matériau.

Une deuxième étude, américaine cette fois-ci, menée par Bennert [Bennert et al., 2010], comparant différentes formulations d'enrobés, à chaud et tièdes, avec différents additifs, à l'aide d'essais PCG, donne des conclusions comparables : la presse à cisaillement giratoire est insensible aux changements de température de fabrication et de compactage. En France, l'approche classique des essais de PCG consiste en l'exploitation du pourcentage de vide en fonction du nombre de rotation, et donc de l'évolution de la compacité, paramètre permettant d'évaluer la compactibilité. Dans une étude publiée en 2007

[Kanitpong et al. 2007], Kanitpong fait état d'une autre approche, initiée par Bahia [Bahia et al. 1998], qui introduit la notion d'énergie requise pour compacter l'échantillon d'enrobé bitumineux à travers deux paramètres : le Compaction Energy Index (CEI) qui représente l'aire sous la courbe de la compacité en fonction du nombre de rotation, comprise entre la première rotation et la rotation correspondant à une compacité de 92%, et le Traffic Densification Index (TDI) qui représente l'aire comprise entre 92% et 98% de compacité, considérant la même courbe. Un troisième paramètre appelé Construction Force Index (CFI) [Hanz et al., 2011] requiert l'exploitation, et donc la mesure préalable, de la force de cisaillement exercée par la presse sur l'échantillon en fonction du nombre de rotation, et représente l'aire sous cette courbe comprise entre la première rotation et celle correspondant à une compacité de 92%.

Une deuxième méthode de compactage, peu utilisée en France mais très développée hors de France, est le compactage Marshall qui se fait par impact, contrairement au compactage par

PCG. Cette méthode Marshall induit la détermination d'une teneur en bitume optimum à l'aide de deux caractéristiques principales : un critère volumétrique et un essai de stabilité. L'étude mentionnée précédemment et menée par Dony [Dony et al., 2010] a été faite en partenariat avec l'Université de São Paulo au Brésil, où le compactage Marshall est très utilisé pour la formulation des enrobés. Les essais réalisés au Brésil, à l'aide de ce compactage, sur une formulation classique d'enrobé à chaud et sur une formulation d'enrobé tiède avec additif montrent des différences considérées significatives entre le chaud et le tiède.

Au contraire, l'étude menée par Bennert [Bennert et al., 2010] montre des résultats différents pour les essais de compactage Marshall qui ont été réalisés. Plusieurs formulations d'enrobés tièdes (différents additifs avec différents dosages) ont été comparées à une formulation à chaud (même assortiment granulaire et même liant bitumineux), pour trois températures de compactage (149°C, 124°C et 102°C). A 149 et 124°C, certaines formulations tièdes montrent des propriétés de compactage meilleures que celles de l'enrobé à chaud et à 102°C toutes les formulations tièdes présentent un meilleur compactage que l'enrobé à chaud, illustrant ainsi selon l'auteur une meilleure compactibilité des enrobés tièdes pour des températures inférieures à celles de fabrication et de mise en oeuvre classiques des enrobés à chaud. [6]

II -4 Les rouleaux

Il existe fondamentalement deux types de rouleaux : les rouleaux statiques et les rouleaux dynamiques ou vibrants.

II -4-1 Les rouleaux statiques

Parmi les rouleaux statiques, on trouve les tandems et les tridems, tous deux à cylindres d'acier, et les rouleaux pneumatiques. C'est par la pression exercée par le rouleau sur la couche d'enrobé qu'on obtient le compactage. Les rouleaux en acier lisses sont surtout destinés à aplanir plutôt qu'à compacter. Ils régularisent le profil en travers et peuvent compacter des couches minces d'enrobé. Ils servent également à « pincer » les joints. Les facteurs influençant leur efficacité sont le diamètre des cylindres, la charge par unité de largeur et la vitesse. Les rouleaux pneumatiques compactent par pression et pétrissage. Plusieurs facteurs influencent leur efficacité : le nombre de pneus, la pression à l'intérieur des pneus, le diamètre des roues, la charge par unité de largeur ainsi que la vitesse. La charge par roue est généralement de 1,5 t à 2,5 t.





La pression de gonflage des pneus se situe entre 300 et 900 kPa.

Les pneus doivent être bien nettoyés afin d'éviter l'adhésion au revêtement chaud. S'ils sont froids, leur réchauffement est requis. Il est souhaitable, voire nécessaire, d'utiliser des jupes pour conserver les pneus suffisamment chauds (figure 5-3).

Constituées généralement de tapis de caoutchouc ou parfois de toiles, les jupes couvrent l'ensemble des pneumatiques du rouleau et permettent de mieux en conserver la chaleur [6]

II -4-2 Les rouleaux à vibrations verticales

Les rouleaux à vibrations verticales à un ou deux cylindres d'acier sont munis de masses rotatives à l'intérieur des cylindres. Ces masses en mouvement transmettent des vibrations aux cylindres, produisant ainsi une force dynamique qui, s'ajoutant à la masse de l'appareil, augmente la capacité de compactage.

Un compactage inadéquat est souvent le résultat d'une mauvaise méthode de travail. Une méthode ou une séquence de cylindrage bien conçue assure un compactage conforme et uniforme.

Avant de procéder au cylindrage, et quel que soit le type de rouleau, il est important d'y aller par étapes :

1. Déterminer le nombre de passes requises pour couvrir complètement la surface du revêtement.
2. Établir le nombre de fois que cette première étape doit être répétée.
3. S'assurer que le mélange est cylindré à une température convenable.
4. Fixer la vitesse du rouleau.

Afin de déterminer le nombre de passes requises pour compacter complètement la surface du revêtement, le rapport est calculé entre la largeur du rouleau (en tenant compte d'un chevauchement nécessaire de 150 mm) et la pleine largeur du revêtement. **Ainsi, la largeur du revêtement divisée par la largeur du rouleau moins 150 mm donne le nombre de passes.**

- **Les rouleaux à vibrations verticales et les rouleaux à oscillations ou vibrations horizontales**

Les rouleaux à vibrations verticales à un ou deux cylindres d'acier sont munis de masses rotatives à l'intérieur des cylindres. Ces masses en mouvement transmettent des vibrations aux cylindres, produisant ainsi une force dynamique qui, s'ajoutant à la masse de l'appareil, augmente la capacité de compactage. Les vibrations dirigées verticalement permettent de réduire le frottement entre les granulats en stimulant l'action de la partie mastic, soit le granulat fin et le bitume, entre les gros granulats facilitant ainsi le compactage. Leur efficacité est fonction du poids suspendu par l'unité de largeur, de la fréquence de vibration et de la vitesse.

Un autre type de rouleau est celui à oscillations ou vibrations horizontales. Lors du compactage, les cylindres se trouvent en contact constant avec le sol. À l'inverse des cylindres à vibrations, ils sont équipés de deux axes balourds à rotation synchrone. Ce dispositif permet le déplacement du cylindre en un mouvement inversant avant-arrière par une rotation simultanée. Le compactage par oscillation est obtenu par le propre poids du rouleau et par les forces tangentielles de cisaillement et non par des vibrations dirigées verticalement et des secousses dans le sol comme pour le système à vibration.

Conformément aux différents principes de compactage, les rouleaux à oscillations transmettent seulement environ 15 % des vibrations produites normalement par les rouleaux à vibrations. C'est pourquoi on peut utiliser des rouleaux et des compacteurs à oscillations très près de bâtiments sensibles aux vibrations et sur des canalisations. Ces machines compactent aussi tous les autres types de support dits normaux.

On trouve actuellement un troisième type de rouleau vibrant, soit le rouleau pneumatique vibrant. Ce type de rouleau améliore l'efficacité des rouleaux pneumatiques. Cependant, il s'agit d'un tout nouveau type de rouleau compacteur dont l'utilisation demeure marginale pour le moment.

II -4-3 Les rouleaux mixtes

Le rouleau mixte équivaut à un couple formé d'un monocylindre et d'un rouleau à pneus. Ils allient les avantages de la vibration à ceux des compacteurs à pneus. Les rouleaux mixtes sont normalement utilisés sur des revêtements d'épaisseurs de 60 mm et moins.

Il est important de procéder au cylindrage initial sur toute la largeur du revêtement dès que l'enrobé est répandu, avant qu'il n'ait eu le temps de refroidir. Le cylindrage débute par le côté le plus bas de la chaussée. À cet endroit, le rouleau ne doit pas déborder de plus de 50 mm de la bordure extérieure du revêtement. Le nombre de passes supplémentaires pour obtenir le degré de compacité exigé est ensuite établi. Pour ce faire, l'utilisation d'un nucléo densimètre est essentielle. On estime en pratique qu'une période de temps de compactage inférieure à 10 minutes est insuffisante pour atteindre les objectifs de compacité et qu'une période minimale de compactage de 20 minutes est réaliste et souhaitable. Les périodes limites de compactage des enrobés bitumineux ont été établies à l'aide du logiciel MultiCool4 en considérant une température d'enrobé à la livraison de 160°C en posant l'hypothèse que la température de la surface est égale à celle de l'air.

La circulation doit être autorisée seulement lorsque la température de la masse de l'enrobé est inférieure à 45°C. Une température plus élevée peut conduire à la formation d'ornières de fluage ou à du post-compactage causé par les véhicules lourds.

II-5 Conclusions

Nous concluons dans ce chapitre que pour obtenir de bons résultats pour le compactage, plusieurs facteurs doivent être pris en compte, parmi lesquels les facteurs

Côté laboratoire, les facteurs d'influence sont :

- Dimension des granulats
- Teneur en bitume
- Type de bitume (polymères, etc.)
- Forme et angularité des granulats
- Ratio épaisseur et dimension des granulats
- Température

Quant au site de réalisation

- Mode vibration de compacteur
- Plus de passes
- Augmenter la pression des pneus
- Rapprocher les rouleaux du finisseur
- Réduire la vitesse des rouleaux
- Température de l'enrobé livré
- Ambiante (vent, soleil, etc.)

Chapitre III

**UTILISATION DES BITUMES
MODIFIERS DANS LES CHAUSSES**

III.1 INTRODUCTION

Les matériaux bitumineux, sont employés depuis le début Le vingtième siècle, pour le revêtement des chaussées à forte circulation (couche de roulement), vu leur utilisation étendue à partir des années 1960-70 il y a eu recours à la constitution des couches d'assises (couche de liaison, couche de base).

Aujourd'hui, en construction neuve, les matériaux traités avec un liant bitumineux représentent pratiquement la totalité des couches de roulement des chaussées revêtues et ils offrent une solution de plus en plus prisée pour les couches d'assise des chaussées à moyen et fort trafic. De même, la totalité des opérations d'entretien et de rénovation des chaussées revêtues fait appel aux liants bitumineux. L'évolution du trafic routier, en particulier l'accroissement des contraintes engendrées par les poids lourds, et les exigences accrues dans le domaine de la sécurité et du confort, auxquelles s'ajoutent aujourd'hui des considérations liées à la préservation des ressources et à la protection de l'environnement, expliquent cette montée en puissance d'un matériau dont les qualités d'économie à la production, de facilité de mise en œuvre et de durabilité à l'usage ne sont plus à démontrer.

III. 2 Domaine D'utilisation :

Les bitumes modifiés ont été développé pour les domaines d'utilisation suivants : - Couches de surface en faible épaisseur (Enduit superficiel, - Couches de roulement pour routes à trafic intense ; - Couche d'assise pour routes à trafic intense ; - Membranes anti-fissures et des chapes d'étanchéité ; - Chapes d'étanchéité d'ouvrages d'art. [3]

Bitume modifié est une substance noire, insoluble dans l'eau qui contient des hydrocarbures au poids moléculaire élevé et leurs dérivés. Il existe généralement dans un état solide ou résineux.

Pour les mélanges de bitume on utilise les composants naturels et artificiels. Bitume naturel est formé à partir de la polymérisation oxydative naturelle du pétrole. Bitume artificiel est le résultat de la modernisation du traitement de "l'or noir".

III. 3 Domaines d'emplois des bitumes modifiés

Les bitumes modifiés par des polymères sont essentiellement employés en couche de roulement pour assurer la sécurité et le confort des usagers et des riverains en augmentant la résistance à l'arrachement, la tenue à l'eau, en favorisant la cohésion et en réduisant l'orniérage et assurant la durabilité sous trafic élevé des caractéristiques de surface. Ceci a permis le développement d'enrobés bien adaptés aux besoins (enduits superficielles, tapis minces, enrobés ouverts et drainants, couches de roulement pour routes à trafic intense, membranes anti fissures, chapes d'étanchéité d'ouvrages d'art, etc.)

- Dans le cas des tapis d'enrobés minces, ultra-minces ou très minces (2 à 3 cm), l'objectif recherché est d'obtenir une épaisseur relativement importante du film du liant autour des gravillons afin d'assurer la durabilité de ces enrobés discontinus plus exposés aux actions de l'environnement et du trafic que les enrobés traditionnels plus fermés, tout en recherchant la suppression du phénomène de ressuage.

Partie I : Revue de la littérature

- Dans le cas des enrobés ouverts, drainants essentiellement, les objectifs visés sont l'amélioration de la cohésivité (permettant une meilleure tenue à la désagrégation) et de l'adhésivité aux granulats (pour diminuer les risques de désherbage à l'eau).
- Pour les enrobés épais de 5 cm et plus, la préoccupation principale est la résistance à l'orniérage qui peut être traité par l'emploi des liants modifiés.
- Dans le cas des couches d'assise de chaussée, l'objectif peut être l'augmentation de la résistance à la fatigue de l'enrobé sous chargement répétés du trafic et l'apport d'une certaine flexibilité.
- Les liants modifiés par des polymères peuvent répondre à l'ensemble de ces objectifs, c'est-à-dire à la fois sur le plan des propriétés mécaniques à l'intérieur d'un intervalle de plasticité élargi et grâce à une réduction de la susceptibilité thermique. [4]

III. 4 Rôle du bitume dans la chaussée

Le pouvoir collant du bitume en fait un matériau de construction essentiel, bien qu'il n'entre qu'en faible proportion (4 à 7 % en masse) dans la plupart des mélanges bitumineux routiers. Il contribue par ses propriétés viscoélastiques au comportement mécanique de la structure de la chaussée. Il en assure également l'étanchéité du fait de son insensibilité à la plupart des agents chimiques usuels, en particulier l'eau.

Une chaussée, rappelons-le, est une structure constituée d'une superposition de couches : couche de roulement, couche de liaison, couche de base, couche de fondation. La couche de roulement et la couche de liaison sont aujourd'hui habituellement réalisées en matériaux bitumineux.

La couche de base, traditionnellement réalisée au liant hydraulique, fait de plus en plus largement appel aux liants bitumineux.

Il faut noter que, conséquence de l'évolution du trafic routier (plus lourd et canalisé), on utilise des bitumes de plus en plus durs, de classe 35/50 plutôt que le traditionnel 50/70. Pour certaines applications, en particulier les graves-bitume structurantes des couches inférieures... pour chaussées à trafic lourd, l'emploi de bitumes 15/25 et même 10/20, n'est plus une exception.

III. 4.1 La couche de base

La couche de base en grave-bitume est la première couche liée par un bitume, au-dessus de la couche de fondation. C'est elle qui donne la rigidité (module) à la structure de la chaussée. A la différence des couches supérieures, elle ne subit pas des efforts de compression mais de traction. Cette sollicitation tend à générer des fissures qui se propagent du bas vers le haut. Pour éviter ce phénomène de dégradation lié à l'endommagement par fatigue, on fait appel à un bitume conventionnel plutôt dur et à forte adhésivité, et aujourd'hui à une teneur élevée (4,3 %), afin d'assurer la cohésion de l'enrobé. La durée de vie des couches de bases est de 30 à 40 ans sur les autoroutes.

III. 4.2 La couche de liaison

La couche de liaison fait appel à des bitumes durs (35/50) ou spéciaux (multigrades ou antiorniérants).

Elle renforce la structure de la route, grâce à une bonne résistance à la déformation provenant de la nature du bitume et de son épaisseur (5 à 15 cm). La couche de liaison est conçue pour être recouverte par une couche de surface. Elle doit pouvoir évoluer en fonction du trafic et subir des rechargements en même temps que le renouvellement de la couche de roulement.

Elle est conçue pour durer 15 à 20 ans

III. 4.3 La couche de roulement

La couche de roulement ou de surface, qu'on appelle aussi couche d'usure, est généralement constituée d'un enrobé bitumineux de faible épaisseur (2 à 5 cm), formulé spécialement avec une teneur élevée de bitume. Elle répond aux exigences du trafic dans une optique de sécurité et de confort et elle est conçue pour durer entre 5 et 10 ans.

Les principales qualités requises sont :

- la rugosité : le bitume, grâce à sa force de cohésion, maintient les granulats en place, conservant ainsi la texture de l'enrobé ;
- la durabilité : malgré son vieillissement dû à l'oxydation et aux variations de température, le bitume doit résister aux forces d'arrachement ;
- l'étanchéité : la compacité de l'enrobé protège les couches inférieures ;
- la résistance à l'orniérage : le bitume de viscoélasticité suffisante aux températures élevées de service apporte la résistance à la déformation permanente ;
- l'uni : assuré par la qualité de la mise en œuvre et la stabilité de l'ouvrage, il contribue à la sécurité et au confort de conduite.

Des qualités supplémentaires peuvent être recherchées : confort sonore (enrobés phoniques à taux de vide plus élevé), réduction des projections d'eau (enrobés drainants à formulation spéciale), confort

visuel et sécurité (enrobés clairs ou pigmentables, à base de liant clair synthétique). A chaque fois, le bitume permet d'apporter la solution adaptée, grâce à la richesse de ses propriétés physico-chimiques.

Pour les routes peu circulées, certaines départementales par exemple, la recherche de solutions à faible coût conduit à utiliser à la place des enrobés des enduits superficiels, réalisés à partir d'émulsion de bitume dont le stockage, le transport et la mise en œuvre se font à température modérée.

En réalisant un enduit superficiel, on cherche à obtenir les mêmes qualités pour la couche de surface :

- adhérence : régénération de la rugosité de surface ;
- étanchéité : le film de bitume empêche l'eau de pénétrer dans les couches inférieures ;
- durabilité : le couple adhésivité/cohésivité du bitume empêche le départ des granulats (plumage).

Les émulsions pour enduits superficiels sont à base de bitumes émulsionnables (acidifiés ou non).

Les enrobés coulés à froid (ECF) sont constitués d'un squelette granulaire, semblable à celui des enrobés à chaud, lié par une émulsion de bitume.

Ils sont réalisés et mis en œuvre par des camions usines transportant l'émulsion spéciale, les granulats, l'eau d'apport, un stabilisant et un rupteur approprié. L'ajustement de la formule se fait au fil du chantier, afin d'obtenir le temps de rupture adapté aux exigences de remise en circulation.

III. 5 conclusions

Au final, nous concluons que le bitume a plusieurs usages dans le domaine de la construction routière, et il a aussi plusieurs avantages, comme nous l'avons mentionné précédemment, et pour cela, une attention suffisante doit être accordée à son développement.

Chapitre IV

**CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX
UTILISÉS**

IV.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les matériaux utilisés dans le cadre de cette étude et les diverses techniques qui ont servi à fabriquer et à caractériser les bétons bitumineux a base de matériaux locaux.

Dans notre étude nous avons utilisé les agrégats de la région de HASSI MESSAOUD wilaya d'OUARGLA

Donc dans ce chapitre, d'abord, nous allons exposer les caractéristiques des différents Matériaux utilisés dans la composition de béton bitumineux a base de matériaux locaux.

Puis, nous présentons les mélanges choisis dans cette étude par la détermination de distribution granulométrique de chaque mélange choisi et les dosages de bitume supposés. Finalement la conclusion qui récapitule tout les renseignements nécessaires exposé.

IV.2 CARACTERISTIQUES DES AGREGATS UTILISES :

Les granulats et le bitume destinés à cette étude de formulation ont fait l'objet d'analyses et essais d'identification donnés ci-dessous. Le mélange a été soumis aux essais **Presse à Cisaillement Giratoire (PCG)** :

1) Essais sur granulats:

L'analyse Granulométrique	NF P 18-560
L'analyse chimique	NF P 15-461
L'essai d'aplatissement	NF P 18-561
Détermination des masses volumiques apparentes	NF P 18-554
Détermination des masses volumiques absolues	NF P 18-554
L'essai de dureté à Los Angeles	NF P 18-573
L'essai Micro Deval Humide	NF P 18-572
L'essai de propreté	NF P 18-591

2) Essais sur le liant:

Pénétrabilité à l'aiguille en 25°C	NA 5192/EN /1426 NTF 66-008
Point de ramollissement bille et anneau	NA 2617/EN1427 NTF 66-008
Point d'éclair	NF T 66-004

3) Essais sur enrobé

M.v.a par pesée hydrostatique	NF P 98-250-6
L'essai de stabilité MARSHALL	NF P 98-251-2
L'essai de Presse à Cisaillement Giratoire (PCG)	NF EN 12697 -31



3) RESULTATS DES ANALYSES :

Le tableau suivant présente les résultats des analyses des constituants :

Tableau IV-2-1: les résultats des analyses

ESSAIS		RESULTATS					RECOMMANDATIONS
		Sable	Gravier de classe		Bitume		
		0/3	3/8	8/15	40/50	modifié à polymère	
Analyse granulométrique	inf. à 31.5 mm	-	-	-			Les courbes doivent s'insérer dans le fuseau de référence.
	inf. à 25 mm	-	-	-			
	inf. à 20 mm	-	-	100			
	inf. à 16 mm	-	-	99			
	inf. à 12.5 mm	-	-	76			
	inf. à 10 mm	-	100	29			
	inf. à 8 mm	-	97	5			
	inf. à 6.3 mm	100	72	0			
	inf. à 5 mm	99	39				
	inf. à 4 mm	93	12				
	inf. à 3.15 mm	86	5				
	inf. à 1 mm	46	0				
	inf. à 0.500 mm	33					
	inf. à 0.315 mm	27					
	inf. à 0.200 mm	23					
inf. à 0.100 mm	19						
inf. à 0.080 mm	18						
Analyses chimiques	Insoluble (%)	5.6	2.7	3.3			-
	Sulfate SO3-1 (%)	1.7	1.8	2.2			Inférieur à 0.7
	Carbonates CaCO3 (%)	86	90	88			Supérieur à 70 %
Essai de propreté	P %	-	1.88	1.62			Inférieur à 2 %
Essai d'aplatissement	A %	-	21	20			Inférieur à 20 %
Essai Los Angeles	Classe 10/14 %	-	23				Inférieur à 25 %
Essai Micro Deval	Classe 10/14 %	-	18				Inférieur à 20 %
Equivalent de sable	E.S à 10% de fine	60	-				Supérieur à 45 %
Essai au bleu de méthylène	V _B	0.88	-				Inférieur à 1
Masses volumiques	Absolue (t/m ³)	2.67	2.66	2.65			Compris entre 2 et 3 t/m ³
	Apparente (t/m ³)	1.36	1.39	1.35			-
Pénétrabilité à l'aiguille en 25°C	1/10mm à 25 °C		-		49	20	40 à 50 et 20 à 30
Point de ramollissement Bulle et anneau			-		47	60	47 à 60
Point d'éclair	°C		-		170.6	174	40 à 500

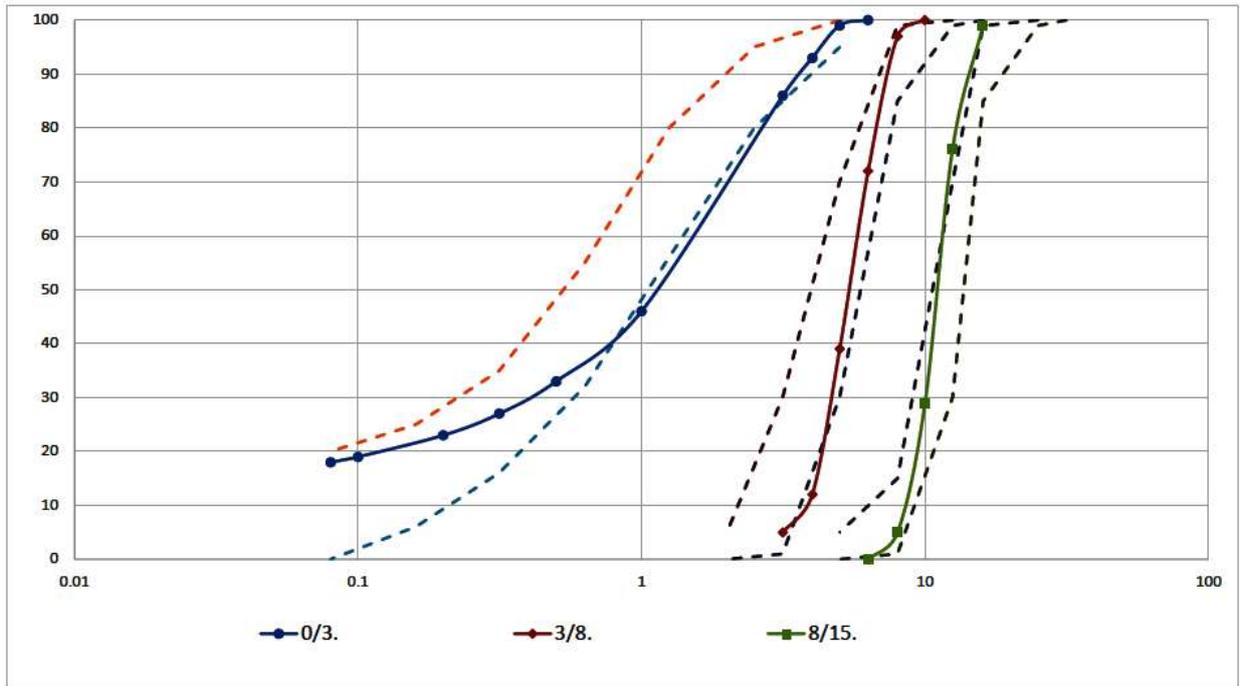


Figure IV-2-1: Courbe granulométrique

IV.3 CARACTERISTIQUES DU BITUME UTILISE

Le bitume utilisé est un bitume pur de classe 40/50 et Bitume modifié à polymère provenant des fondoirs du

- classe 40/50 (CENTRE BITUMES NAFTAL S.P.A de TOUGOURT)
- Bitume modifié à polymère (LABO DES MATERIAUX UNIVERSITE KASDI MERBAH- OUARGLA -Département Génie Civil et d'Hydraulique)

Après les essais d'identification réalisés sur ce bitume dans le LABORATOIRE LTPS & LABO DES MATERIAUX département Génie Civil et d'Hydraulique.

on a obtenu les résultats suivants :

Tableau IV-2-2: Caractéristiques du bitume

ESSAI	UNITÉ	REFERENCE NORME	RÉSULTAT	SPECIFICATIONS
bitume classe 40/50				
Pénétrabilité à l'aiguille en 25°C	G/ CM ³	NA 5192/EN /1426 NTF 66-008	49	40 à 50
Point de ramollissement bille et anneau	1/10 MM	NA 2617/EN1427 NTF 66-008	47	47 à 60
Point d'éclair	°C	NF T 66-004	170.6	40 à 500
Bitume modifié à polymère				
Pénétrabilité à l'aiguille en 25°C	g/cm ³	NA 5224/ NTF 66-007	20	20 à 30
Point de ramollissement bille et anneau	1/10 mm	NA 5192/EN /1426 NTF 66-008	60	47 à 60
Point d'éclair	°C	NF T 66-004	174	40 à 500

IV.4 DESCRIPTION DES MELANGES ETUDIES

La formulation en Algérie est basée sur la vérification des caractéristiques des composants ainsi que sur les essais Duriez et Marshall plus de ça le essai **Presse à Cisaillement Giratoire (PCG)** en fonction des matériaux granulaires. On choisi une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait donner une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné. Les fractions granulaires sont choisies parmi les suivantes : 0/3, 3/8, 8/15, les caractéristiques des granulats sont représentés comme suit.

Tableau IV-4-1: Fuseau de specifications 0/14

TAMIS (MM)	% DE PASSANT	
	MINIMUM	MAXIMUM
14	94	100
10	72	84
6.3	50	66
4	40	54
2	28	40
0.08	7	10

IV.5 DETERMINATIONS DES MELANGES A ETUDIER:

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

Dans cette étude, nous préparons trois formulations, La premier mélange nous utilisons le gravier sélectionné, **ainsi que le BITUME 40/50, qui est le mélange de référence.**

Quant au deuxième mélange, **nous utilisons du Bitume modifié à polymère** à la place du BITUME 40/50, en plus du gravier choisi.

Comme pour le troisième mélange, on utilise du Bitume modifié à polymère et le gravier sélectionné, avec **ajout de 25% de sable de dune au pourcentage de gravier 0/3.**

À l'aide L'essai Presse à Cisaillement Giratoire (PCG), nous comparons les résultats du deuxième et troisième mélange avec les résultats de L'essai PCG pour le mélange référence

Le mélange granulométrique utilisé permet d'obtenir un mélange d'enrobé type béton bitumineux (témoin) :

$$\text{Mélange (\%)} = \text{passant(\%)} \frac{\text{des agrégat (\%)}}{100}$$

Dans ce cas et dépendant aux analyses granulométriques des fractions 0/3, 3/8, 8/15, on trouve que la meilleure composition granulaire trouvée est assez compatible avec le fuseau :

- Gravier de classe 8/15.....**34 %**
- Gravier de classe 3/8.....**25 %**
- Sable concassée 0/3.....**41 %**

Cette composition c'est l'optimale répondre au fuseau de référence (tableau ci-dessous).

Ce dernier exprime par une courbe granulométrique comparativement au fuseau.

Les tableaux suivants présentent les différents pourcentages des agrégats obtenus :

Tableau IV-5-1: Pourcentages des agrégats utilisés (BB ordinaire)

Tamis	AG 0/3	41% de 0/3	AG 3/8	25% de 3/8	AG 8/15	34% de 8/15	Mélange
31.5	100	41	100	25	100	34	100
25	100	41	100	25	100	34	100
20	100	41	100	25	100	34	100
16	100	41	100	25	99	33.7	99.7
12.5	100	41	100	25	76	25.8	91.8
10	100	41	100	25	29	9.9	75.9
8	100	41	97	24,3	5	1.7	67
6.3	100	41	72	18,0	0	0	59
5	99	40,6	39	9,8	0	0	50.4
4	93	38,1	12	3,0	0	0	41.1
3.15	86	35,3	5	1,3	0	0	36.6
1	46	18,9	0	0	0	0	18.9
0.500	33	13,5	0	0	0	0	13.5
0.315	27	11,1	0	0	0	0	11,1
0.2	23	9,4	0	0	0	0	9,4
0.1	19	7,8	0	0	0	0	7,8
0.080	18	7,4	0	0	0	0	7,4

AG : Résultats d'analyse de granulométrique

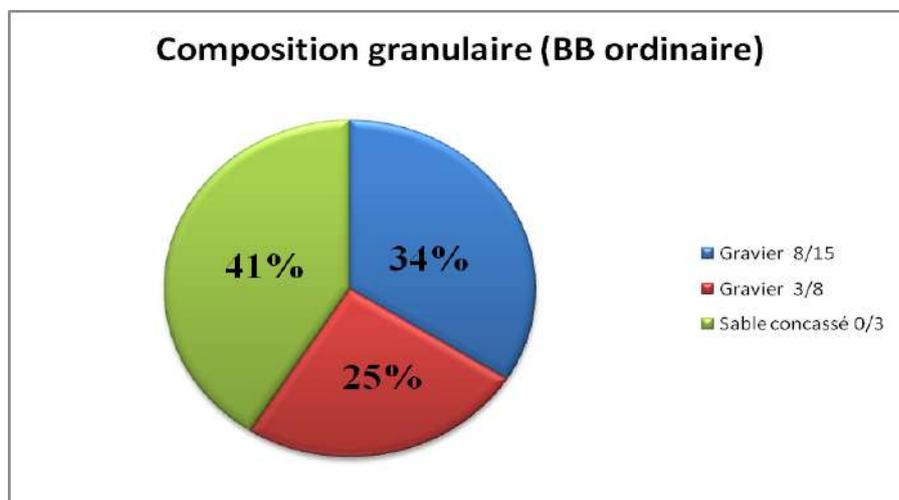


Figure IV-5-1: Composition granulaire (BB ordinaire)

IV.6 Détermination des teneurs en bitume:

L'objectif est l'obtention d'un enrobage complet de l'ensemble du squelette minéral. La méthode choisie c'est la méthode française, module de richesse, et le dosage en liant en bitume adopté dans Le cadre de l'étude de formulation selon quelques caractéristiques physiques :

- Coefficient correcteur de la masse volumique α :

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

Selon les proportions des constituants et ces masses volumiques on a :

$$MVR_g = 2,659 \Rightarrow \alpha = \frac{2,65}{MVR_g} = 0,997$$

- Surface spécifique de mélange :

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

Avec :

- G**: proportion des éléments supérieure à 6.3 mm
- S**: proportion des éléments compris entre 6.3 et 0.315 mm
- s**: proportion des éléments compris entre 0.315 et 0.08 mm
- f**: proportion des éléments inférieurs à 0,08 mm.

$$\Sigma = 13.650 \text{ m}^2/\text{kg}$$

Et pour la teneur en liant ce dernier calculer en fonction le module de richesse (k) ce dernier exprime l'épaisseur d'enrobage, La formule de calcul c'est la suivante :

$$\text{Teneur en liant} = K \cdot \alpha \cdot \sqrt[5]{\Sigma}$$

Tableau IV-6-1: Teneur en bitumen

Teneur en bitume	5.7	5.8
Module de richesse	3.33	3.45
Coefficient correcteur	0.996	
Surface Spécifique	13.650	
Masse volumique réelle	2.456	2.450

Dans le tableau précédent, nous avons choisi le dosage de 5,7% pour le mélange que nous allons étudier

IV.7 Conclusions

A la lumière des résultats obtenus :

Le liant est un bitume pur de classe 40/50, et bitume modifié à polymère caractérisé par une pénétrabilité de 49-20 successivement (normes NF T66-008, NF T66-007).

Les classes de gravier utilisées proviennent de la carrière BENBRAHIM HASSI MESSAOUD, elles ont été livrées sous forme de Trois fractions granulaires différentes 3/8 et 8/15 ainsi qu'un sable concassé 0/3.

- ✓ Les granulats sont entièrement concassés de nature calcaire, propres avec un coefficient d'aplatissement acceptable.
- ✓ Ils présentent des caractéristiques de fabrication acceptables, appréciés par les courbes granulométriques obtenues qui s'incèrent entièrement à l'intérieur du fuseau.

Chapitre V

**Essais PCG sur les enrobés
formulé**

V.1. Principe d'essai PCG

Un mélange hydrocarboné préparé en laboratoire, est placé, foisonné et à la température d'essai (130 °C à 160 °C environ) dans un moule cylindrique de 100, 150 mm ou 160 mm de diamètre. On applique sur le Sommet de l'éprouvette une pression, verticale de 0,6 MPa. En même temps, l'éprouvette est inclinée d'un Angle faible de l'ordre 0,82° et soumise à un mouvement circulaire. Ces différentes actions exercent un Compactage par pétrissage.

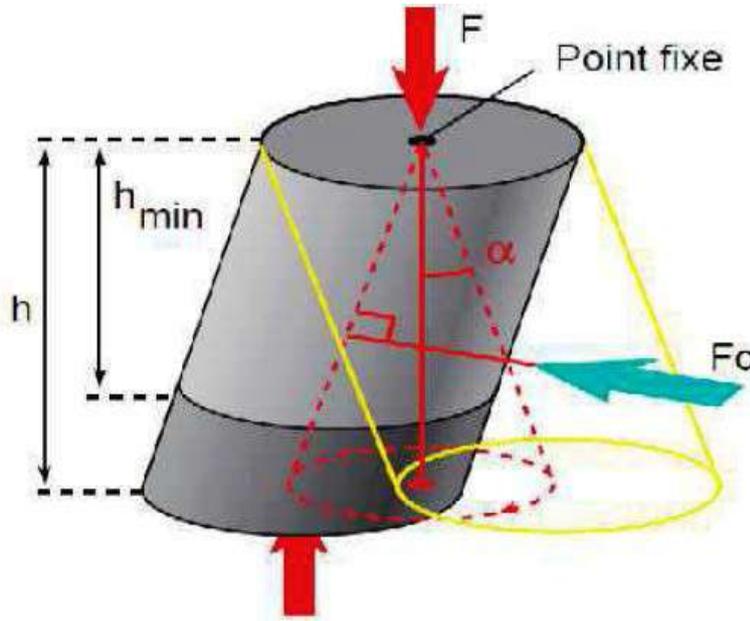


Figure V.1. Principe de Cisaillement Giratoire PCG

- H_{min} : hauteur minimale pour 0 % de vide ;
- H : hauteur apparente pour N girations ;
- F : force axiale ;
- F_c : force de cisaillement ;
- α : angle d'inclinaison.

Note : Les deux méthodes peuvent être utilisées au but de déterminer la compactibilité pour le cas

Compactage par impact comme dans l'essai Marshall.

Seule la seconde est utilisée pour le compactage giratoire et seule la première est utilisée pour le compactage par vibration.

Une courbe pourcentage de vides en fonction de l'énergie de compactage est établie.

L'énergie de compactage se caractérise, dans le cas du damage, par le nombre de coups, dans le cas du compactage giratoire, par le nombre de girations et, dans le cas du compactage par vibration, par le temps de vibration en

Secondes.

Une équation mathématique est déduite des résultats expérimentaux et les paramètres de cette équation

Caractérisent la compactibilité du mélange [NF EN 12697-10 ; 2003], l'équation pour le cas de la presse cisaillement giratoire est mentionnée dans le titre, expression de résultats de cette partie.

V.2. Réalisation d'essai PCG

- Les matériaux sont préchauffés dans une étuve ainsi les accessoires de malaxage et le moule de Compactage ;
- Le technicien place les granulats préchauffés dans la boule ou un bac sur la balance ;
- Puis en ajout la masse de bitume chaud a le mélange (granulat sec chaud + bitume chaud) ;
- Un malaxage est effectué (Photo II.2) jusqu'à ce que les granulats sont bien enrobés de bitume.



Figure V.2. Malaxage des granulats avec un bitume pur

- Le mélange confectionné à chaud est alors prêt à être compacté, puis technicien le verse dans le Moule préchauffé ;
- Le compactage doit débuter à une température qui diffère tout au plus de 5°C par rapport à la Température de compactage pré-scripte dépend du mélange ;
- L'appareil applique une pression de 0.6 MPa, et une inclinaison de 0.82° de moule pour exercer un Compactage par pétrissage, au moment de chaque giration un nombre des mesures de hauteur sont effectuées.

V.3. Type des compacteurs giratoires

a) **La presse à compactage giratoire de Vicksburg** : Cet appareil, dont le prototype date de la fin des

Années cinquante, est le premier qui a été commercialisé, la figure II.3 montre la vue en coupe de ce

Compacteur.

- Le moule A est rempli d'enrobe chaud qui est maintenu à sa température, à l'aide d'une

enceinte chauffante avec des résistances électriques. Le moule est placé dans un mandrin dont la bride sert de piste de roulement à deux galets C et D.

- Le vérin E, fixe, et le vérin F, mû hydrauliquement, sont appliqués respectivement sur les faces

Supérieures et inférieures du moule, ils soumettent le mélange à une pression statique qui est maintenue

Constante pendant tout l'essai.

- Un moteur électrique fait tourner la partie supérieure autour de son axe vertical à la vitesse de 10 RPM.

- Les galets C et D entraînent à cette vitesse par la partie supérieure de l'appareil, avec laquelle ils sont

Solidaires, exercent en circulant sur la bride des forces de contact, créant un couple dont les points d'application se déplacent avec l'attelage mobile.

- L'axe du mandrin prend alors une inclinaison par rapport à la verticale et la valeur de cet angle peut être choisie en agissant sur la position du galet inférieure.

- Ce mouvement est rendu possible grâce à la plaque métallique G qui est séparée du vérin supérieur E

Par une butée à billes. Cette plaque peut se déplacer légèrement dans le plan horizontal tout en transmettant à l'enrobe des pressions verticales. Grâce à ce degré de liberté l'échantillon d'enrobe

reste solidaire des mouvements du mandrin et pourra subir des déformations en cisaillement.

Cet appareil enregistre la compacité de l'échantillon par sa variation de hauteur durant le compactage, l'angle d'inclinaison, et le nombre de girations. La lecture du manomètre est visuelle [J.C. MOREUX ; 1987].

Mécanisme La Presse à Cisaillement Giratoire de Vicksburg [J.C. MOREUX ; 1987].

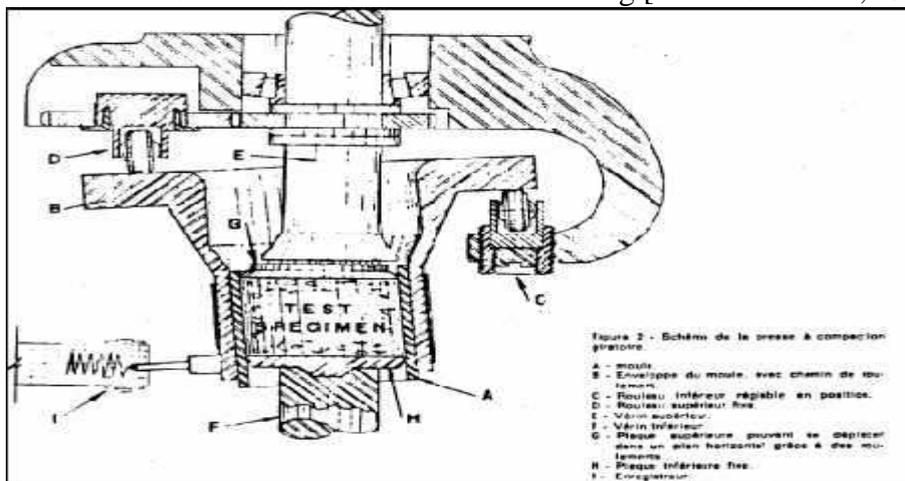


Figure V.3.1. Mécanisme La Presse à Cisaillement Giratoire de Vicksburg

b) L'appareil français des Ponts et Chaussées

Cet appareil a été commercialisé vers 1974 et le schéma le représentant se trouve à la figure II.4. Le corps de L'appareil est constitué par un moule contenant l'enrobe dans une enceinte chauffante thermostat. Cette Enceinte est régulée par un système de thermocouples

Les organes suivants complètent la presse :

- Le vérin d'inclinaison provoquant une inclinaison de l'éprouvette autour de l'axe perpendiculaire à la Coupe de la figure, et passant par le centre de la section de la face inférieure du moule ;
- Le système d'entraînement de l'appareil qui est une couronne dente ;
- Le piston supérieur fixe et le nez du second vérin appliquant la pression statique de compactage

Si on applique, à l'aide du vérin d'inclinaison une force F dirigée vers le haut, on provoque une rotation de L'éprouvette dans le plan vertical passant par cet axe et plaignant l'angle d'inclinaison dans ce plan.

Cet appareil peut fonctionner a angle affiche constant (angle fixe), ou bien à pression d'inclinaison constante

(Angle variable).

Dans le premier cas le vérin d'inclinaison est utilisé comme un organe de longueur constante provoquant un Angle constant dans le plan de l'axe de l'éprouvette et celui de l'axe du vérin d'inclinaison. Cet angle se trouve Libre et donc variable dans les autres plans verticaux.

Dans le second cas, le vérin d'inclinaison exerce une force constante et provoque un angle d'inclinaison Variable dans le plan décrit

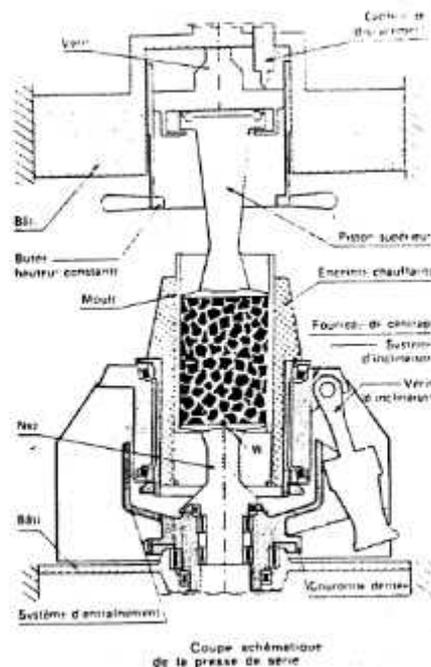


Figure V.3.2. Mécanisme à l'appareil français des Ponts et Chaussées

V.4. Expression des résultats de PCG

La variation du pourcentage de vides de l'éprouvette compactée en fonction de l'énergie de compactage [NF EN 12697- 10 ; 2003] est déterminée a l'aide de la formule suivante :

$$v(n) = v_1 - k \cdot \ln(n)$$

Avec :

- v(n): est le pourcentage de vides pour un nombre de girations, *ng*, exprimé en pour cent (%) ;
- v₁: est le pourcentage de vides calculé pour une giration ;
- k: est la compactibilité (pour la méthode utilisant un compacteur giratoire) ;
- n : est le nombre de girations.

Calculer les 2 paramètres de l'équation, et *K*, par la méthode des moindres carrés sur les données Expérimentales et pour un nombre de girations supérieur ou égal à 20 avec une régression linéaire dans Laquelle et v(n) sont respectivement les variables indépendante et dépendante.

Exprimer le pourcentage de vides, à un chiffre après la virgule et la compactibilité, *K*, à deux chiffres après la virgule, [12697 – 31, 2003] et le résultat serre présente sous forme on courbe

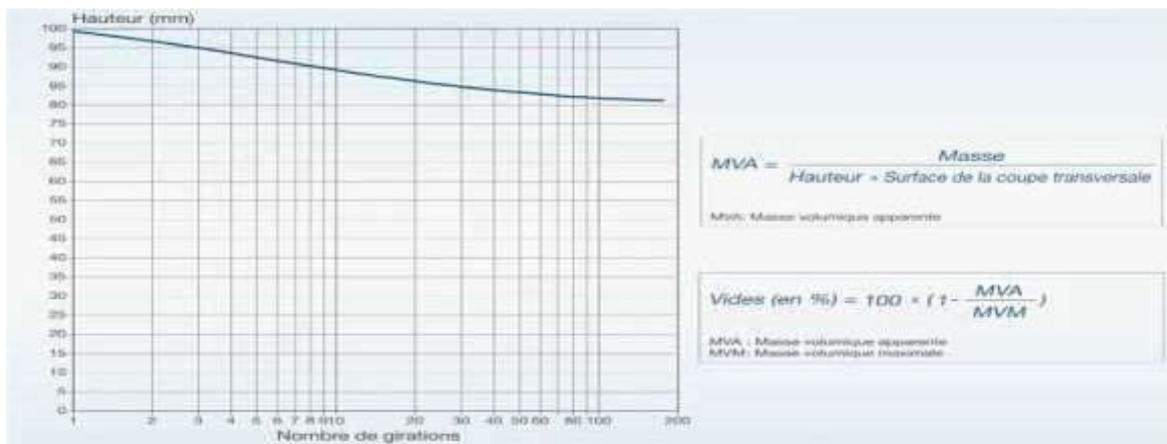


Figure V.4. Présentation des résultats d'essai PCG

Tableau V.4. Exemple des Spécifications relatives au pourcentage de vides [EN 13108-1]

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

V.5. Préparation de mélange d'essai PCG

Les échantillons sont chauffés à une température de 160°C pour faciliter leur manipulation. Durant le chauffage, une agitation a été utilisée pour homogénéiser le système et pour éviter les points chauds qui peuvent initier une oxydation prématurée des bitumes

Dans cette étude, nous préparons deux compositions, le premier mélange nous utilisons le gravier sélectionné, ainsi que le BITUME 40/50 qui est le mélange de référence.

Quant au second mélange, nous utilisons du bitume modifié à polymères à la place du bitume 40/50, ainsi que des graviers sélectionnés.

En utilisant le test Gyrotory Shear Press (PCG), nous avons comparé les résultats du deuxième test avec les résultats du test PCG pour le mélange de référence.

Poids de mélange préparé égale 12000 g

Tous les poids de bitume, gravier et sable peuvent être trouvés dans les tableaux suivants :

Tableau V.5.1 : valeur de composition du mélange bitumineux

Mélange	composition	Poids(g)
enrobés BB 0/14 bitume 40/50 (5.7%)	Gravier de classe 8/15	4080
	Gravier de classe 3/8	3000
	Sable concassé 0/3	4920
	bitume 40/50	684
enrobés BB 0/14 bitume modifié à polymère (5.7%)	Gravier de classe 8/15	4080
	Gravier de classe 3/8	3000
	Sable concassé 0/3	4920
	bitume 40/50	684

Observation : La différence entre les deux mélanges est que dans le premier on a ajouté du bitume 40/50 Quant au deuxième mélange, il y a été ajouté bitume modifié à polymère .

Toutes les proportions du mélange bitumineux, gravier, sable et bitume, Cette valeur est basée sur des formulations précédentes

V.6. Les résultats d'essai PCG :

L'enrobé est compacté à une température constante dans un moule cylindrique tournant sur lui-même en créant un effet de pétrissage. On observe l'augmentation de compacité (diminution de pourcentage de vide) en fonction du nombre de giration, simulant l'effet de compacteur à pneus sur chantier. Les résultats sont comme suite :

V.6.1 Les résultats d'essai PCG du Mélange (01) : enrobés BB 0/14 bitume 40/50 Les résultats sont comme suite

Tableau V.6.1 Les résultats d'essai PCG du Mélange (01)

Information de l'essai							
MVR (kg/m ³)	Hmin (mm)			Diamètre de moule (mm)	Masse d'échantillon (kg)	Facteur K	
2490	100			100	1.930		
Eprouvette N°	1	2	3	Hauteur moyenne (mm)	Masse volumique (kg/m ³)	Indice de vide (%)	CV
Température	150	150	150				
Girations	Hauteur (mm)						
5	128.79	126.83	127.63	127.8	1924.5	21.7	0.77
10	124.83	123.62	124.16	124.2	1979.5	19.5	0.49
15	122.55	121.74	122.08	122.1	2013.2	18.1	0.33
20	120.93	120.40	120.63	120.7	2037.7	17.1	0.22
25	119.79	119.35	119.65	119.6	2055.8	16.4	0.19
30	118.84	118.50	118.77	118.7	2071.2	15.8	0.15
40	117.42	117.25	117.45	117.4	2094.7	14.8	0.09
50	116.30	116.30	116.40	116.3	2113.5	14.0	0.05
60	115.37	115.45	115.55	115.5	2129.5	13.4	0.08
80	113.91	114.04	114.21	114.1	2155.6	12.3	0.13
100	112.74	112.98	113.26	113.0	2175.9	11.5	0.23
120	111.85	112.23	112.54	112.2	2191.2	10.9	0.31
150	110.78	111.30	111.75	111.3	2209.5	10.1	0.43
200	109.68	110.13	110.68	110.2	2231.9	9.2	0.45

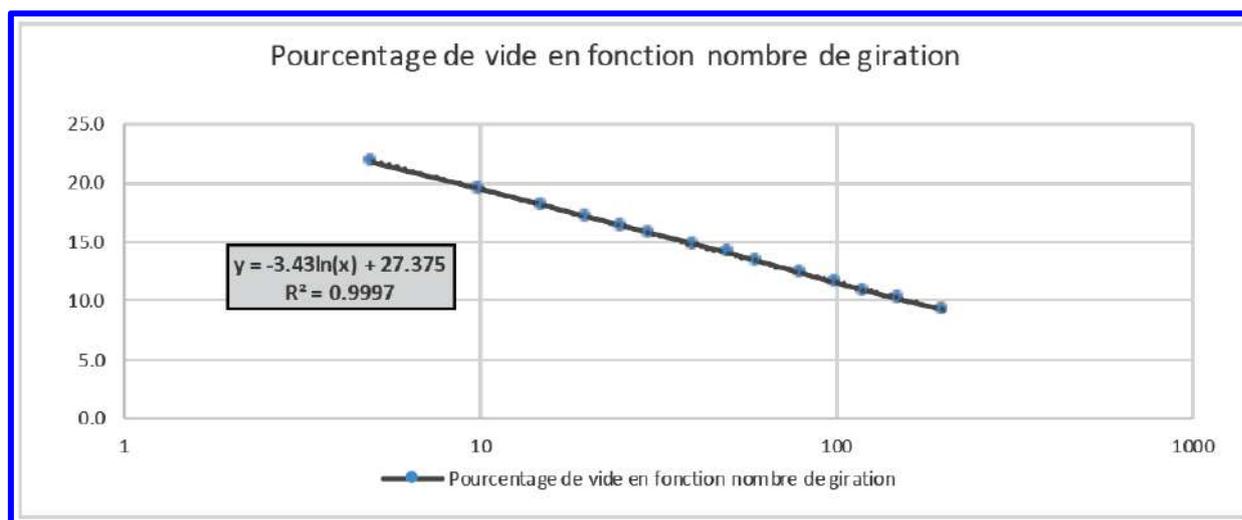


Figure V.6.1 Courbe Les résultats d'essai PCG du Mélange (01)

- a) **Observation** : Les résultats de PCG montrent que le mélange témoin a une aptitude de compactage médiocre ($V_{80} > 9\%$), ce qui est dû au problème de granularité dans le mélange, d'où la valeur de La compacité est égale à **87 %**

V.6.2 Les résultats d'essai PCG du Mélange (02) : enrobés BB 0/14 bitume modifié à polymère Les résultats sont comme suite

Tableau V.6.2 Les résultats d'essai PCG du Mélange (02)

Information de l'essai							
MVR (kg/m ³)	Hmin (mm)			Diamètre de moule (mm)	Masse d'échantillon (kg)	Facteur K	
2490	100			100	1.930		
Eprouvette N°	1	2	3	Hauteur moyenne (mm)	Masse volumique (kg/m ³)	Indice de vide (%)	CV
Température	150	150	150				
Girations	Hauteur (mm)						
5		125,06	125,76	125.4	1960.4	20.3	0.40
10		121,81	122,31	122.1	2014.2	18.1	0.29
15		119,96	120,33	120.1	2046.4	16.8	0.22
20		118,6	118,91	118.8	2070.3	15.8	0.18
25		117,55	117,83	117.7	2089.1	15.0	0.16
30		116,7	117,01	116.9	2103.9	14.4	0.19
40		115,45	115,61	115.5	2128.1	13.4	0.10
50		114,35	114,62	114.5	2147.5	12.7	0.17
60		113,43	113,87	113.6	2163.3	12.0	0.28
80		112,02	112,71	112.4	2188.1	11.0	0.43
100		111,12	111,92	111.5	2204.6	10.3	0.50
120		110,4	111,26	110.8	2218.3	9.8	0.55
150		109,5	110,57	110.0	2234.3	9.1	0.69
200		108,64	109,71	109.2	2252.0	8.4	0.70

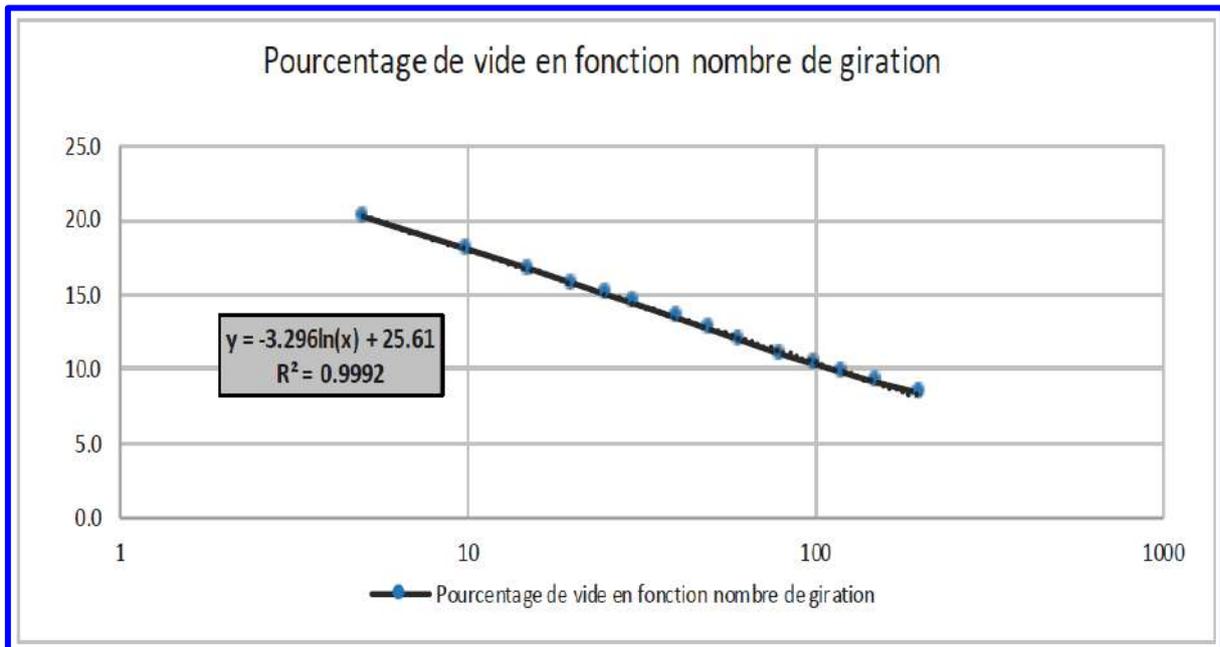


Figure V.6.2 Courbe Les résultats d'essai PCG du Mélange (02)

- b) Observation :** le mélange présente une aptitude de compactage médiocre, nous avons aussi ($V_{80} > 9\%$), et cela est du également au problème de granularité de mélange qui le BMP n'ayant pas été corrigée, d'où la valeur de La compacité est égale à **89 %**

V.7. Discussion des Resultats d'Essai PCG:

Dans cet article, nous discutons des résultats obtenus à partir d'essai menées dans cette étude. L'essai le plus importante dans cette étude est L'essai PCG, d'où notre discussion portera essentiellement sur cet essai

Le tableau suivant résume les résultats obtenus

Tableau VI Résumé La compacité

Mélange	La compacité
enrobés BB 0/14 bitume 40/50	87 %
enrobés BB 0/14 bitume modifié à polymère	89 %

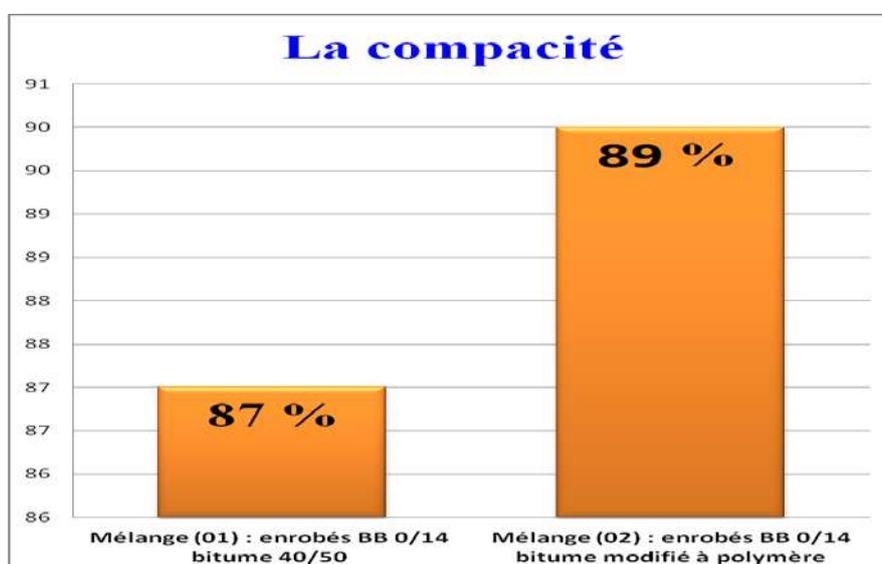


Figure VI Courbe de Résumé La compacité

V.8. Conclusions

Notre étude a principalement porté sur la modification des composants du mélange bitumineux. Parmi ces composants se trouve ce dernier composant de Bitume que nous avons modifié. Nous avons changé le type Bitume du Bitume 40/50 au Bitume modifié à polymère.

Nous avons remarqué dans les résultats d'essais que nous avons effectués sur le mélange bitumineux l'impact de ce type de Bitume sur le pourcentage de compactage, et ceci est basé sur les résultats d'essai de presse de cisaillement giratoire PCG.

Conclusions générales

1. Conclusions générales

Notre travail de recherche a pour objectif d'améliorer les matériaux routiers dans les zones chaudes, et ce à travers une mise en valeur des mélanges bitumineux à différentes natures par modification partielle ou totale de leurs composantes

Il traite de façon expérimentale l'aptitude au compactage d'un enrobé bitumineux à base de bitume modifié à polymère vis à vis d'un enrobé bitumineux ordinaire.

Tout d'abord le choix de ce type de bitume est motivé par sa compatibilité à la zone aride, où les essais de classement ont permis de le classer près de la classe 20/30.

Dans un deuxième temps des essais de caractérisation des matériaux utilisés, aussi bien les granulats que le liant hydrocarboné ont révélé des résultats acceptables répondant aux exigences et normes en vigueur.

Dans un dernier temps, nous avons procédé à l'expérience fondamentale de notre travail expérimental, où nous avons réalisé les essais de la presse de cisaillement giratoire PCG sur les mélanges bitumineux étudiés. Nous avons procédé à l'optimisation des différents constituants d'un enrobé bitumineux ordinaire témoin et cela à l'aide des résultats de l'essai Marshall qui a été effectué auparavant.

Les mélanges confectionnés sont ; béton bitumineux à base bitume pure 40/50 (béton bitumineux témoin) et béton bitumineux à base de bitume- modifié à polymères

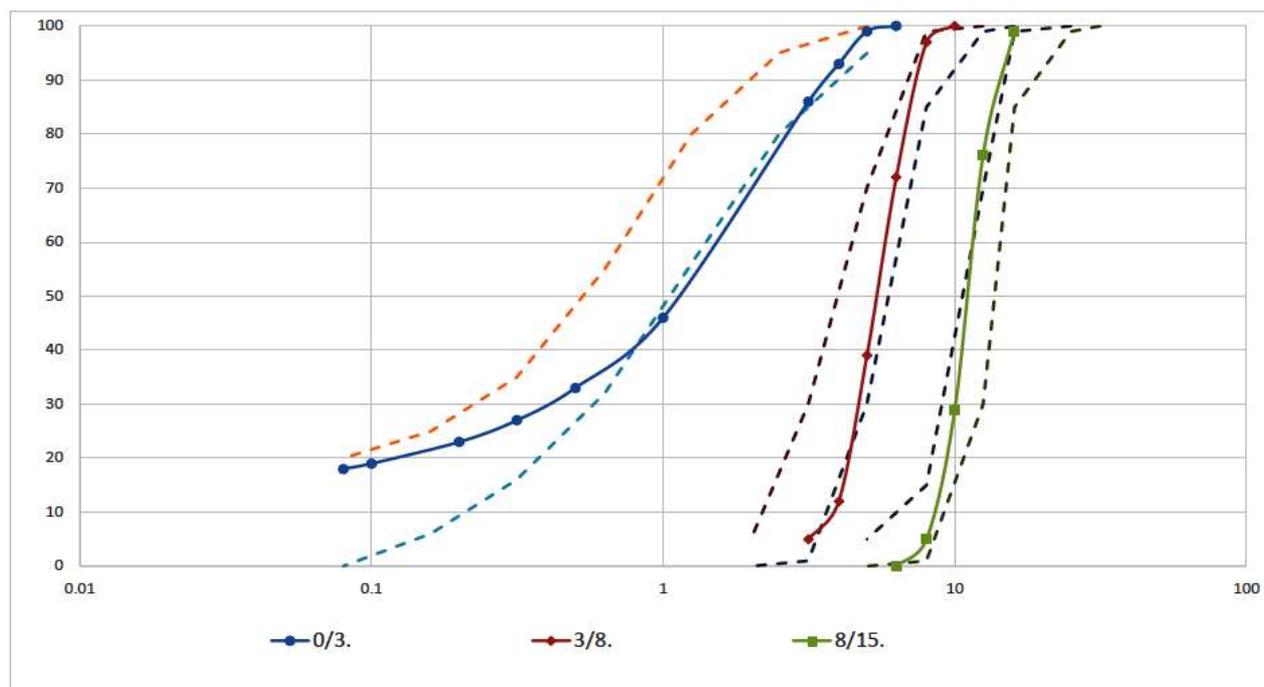
Les résultats obtenus montrent que le bitume modifié influe positivement sur la compacité d'un enrobé bitumineux et améliore son aptitude au compactage comparé à un béton bitumineux ordinaire.

Des travaux complémentaires seront recommandés dans le but d'enrichir ce travail avec des études plus approfondies afin d'avoir des résultats plus concluants et ce soit par l'ajout d'autres additifs ou par l'introduction des modifications dans la composition granulaire.

Les annexes

ANNEXE A : COURBE GRANULOMETRIQUE

COURBE GRANULOMETRIQUE DES CONSTITUANTS



ANNEXE B : Rapport De LTPS Sur D'essai De PCG (Mélange (01) : enrobés BB 0/14 bitume 40/50)



مختبر الأبحاث والدراسات الهندسية للقطاع الجنوبي

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

SPA AU CAPITAL DE :303.000.000 DA

Zone d'activité -Bouhraoua -Ghardaïa ☎ +213 (0) 770 27 37 32 / +213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 36
 📍 +213 (0) 29 25 27 44 ✉ BP 332 - 47000 Ghardaïa 📧 Contact@ltps.dz 🌐 www.ltps.dz

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CONFECTION D'EPROUVETTES A LA PRESSE A COMPACTAGE GIRATOIRE

NF EN 12697 - 31 (Mars 2019)

PV N° :,/PCG/20,,, version (*) : ,,,

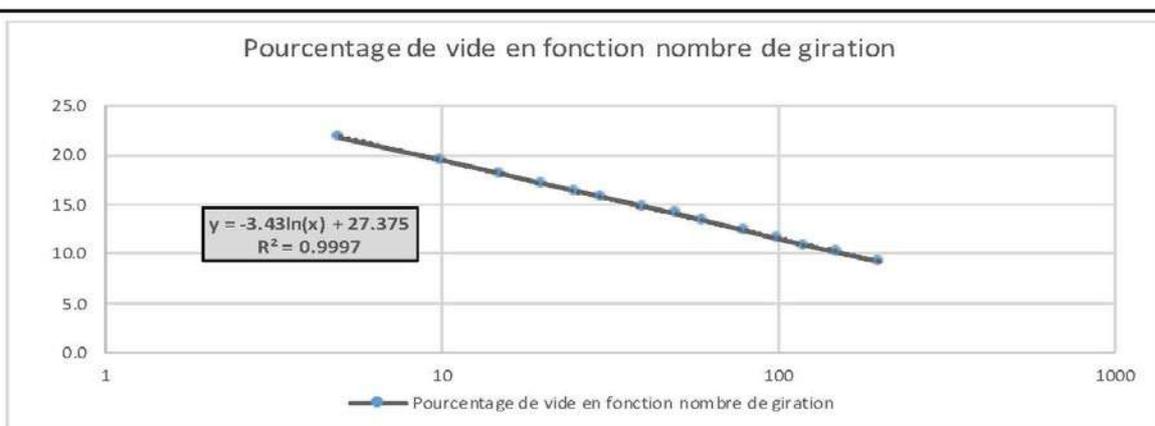
Structure	DT	Balance N°	L021.03.16
N° dossier interne	BR/MAS/2021	Étuve N°	L039.17.S.002+001
Date de la demande d'essai	/	PCG N°	L141.17.S.001
Lieu de travail	PBS	Description et état de l'échantillon (**):	MELANGE BBO/14 40/50

Méthode de production :		Laboratoire	Chantier	
COMPOSITION (I)	(%)			
Fraction			Méthode de vérification de l'angle	
Fraction			Date de confection de l'enrobé	
Fraction			Date de confection des éprouvettes	
Fraction			Température compactage	
Additif			Condition d'essai	
Filler			Angle d'inclinaison	0.82
Liant			Vitesse de rotation	30
			Pression	600 kPa

Information de l'essai				
MVR (kg/m ³) (1)	Hmin (mm)	Diamètre de moule (mm)	Masse d'échantillon (kg)	Facteur K
2490	100	100	1.930	

Epreuve N°	Hauteur (mm)			Hauteur moyenne (mm)	Masse volumique (kg/m ³)	Indice de vide (%)	CV
	1	2	3				
Température	150	150	150				
Girations	Hauteur (mm)						
5	128.79	126.83	127.63	127.8	1924.5	21.7	0.77
10	124.83	123.62	124.16	124.2	1979.5	19.5	0.49
15	122.55	121.74	122.08	122.1	2013.2	18.1	0.33
20	120.93	120.40	120.63	120.7	2037.7	17.1	0.22
25	119.79	119.35	119.65	119.6	2055.8	16.4	0.19
30	118.84	118.50	118.77	118.7	2071.2	15.8	0.15
40	117.42	117.25	117.45	117.4	2094.7	14.8	0.09
50	116.30	116.30	116.40	116.3	2113.5	14.0	0.05
60	115.37	115.45	115.55	115.5	2129.5	13.4	0.08
80	113.91	114.04	114.21	114.1	2155.6	12.3	0.13
100	112.74	112.98	113.26	113.0	2175.9	11.5	0.23
120	111.85	112.23	112.54	112.2	2191.2	10.9	0.31
150	110.78	111.30	111.75	111.3	2209.5	10.1	0.43
200	109.68	110.13	110.68	110.2	2231.9	9.2	0.45

(1): valeur transmis par le client



Observation : Les résultats de PCG montre le mélange témoin à une aptitude de compactage médiocre (V80 > 9 %), ce dernier est due aux problèmes de granularité dans le mélange.

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées doivent être identifiées en « gras », les explications de ces modifications doivent être mentionnées dans la rubrique « observation » du rapport,
 (**): Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation »,

Date de réception d'échantillon :

Date d'essai : 02/06/2021

Date de rapport : 09/06/2021

Nom et Prénom du Contrôleur : BOUCHERBA. M

Visa : _____

- Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai,
- Les échantillons ont été fournis par le client, les résultats de ce rapport s'appliquent aux échantillons tels qu'ils ont été reçus, (Article 7,8,2,2 de ISO 17025)
- Le laboratoire n'est pas responsable sur les informations fournis par le client,
- L'estimation de l'incertitude de mesure sur le résultat peut être communiquée à la demande de client,
- Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du LTPS (note),

fin rapport

ANNEXE C : Rapport De LTPS Sur D'essai De PCG Mélange (02) : enrobés BB 0/14 bitume modifié à polymère



مختبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
SPA AU CAPITALE DE :303.000.000 DA

Zone d'activité -Bouhraoua -Ghardaïa ☎ +213 (0) 770 27 37 32 / +213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 36
📠 +213 (0) 29 25 27 44 📧 BP 332 - 47000 Ghardaïa 📧 Contact@ltps.dz 🌐 www.ltps.dz

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI CONFECTION D'EPROUVETTES A LA PRESSE A
COMPACTAGE GIRATOIRE
NF EN 12697 - 31 (Mars 2019)

PV N° : .../PCG/20,,, version (*) : ...

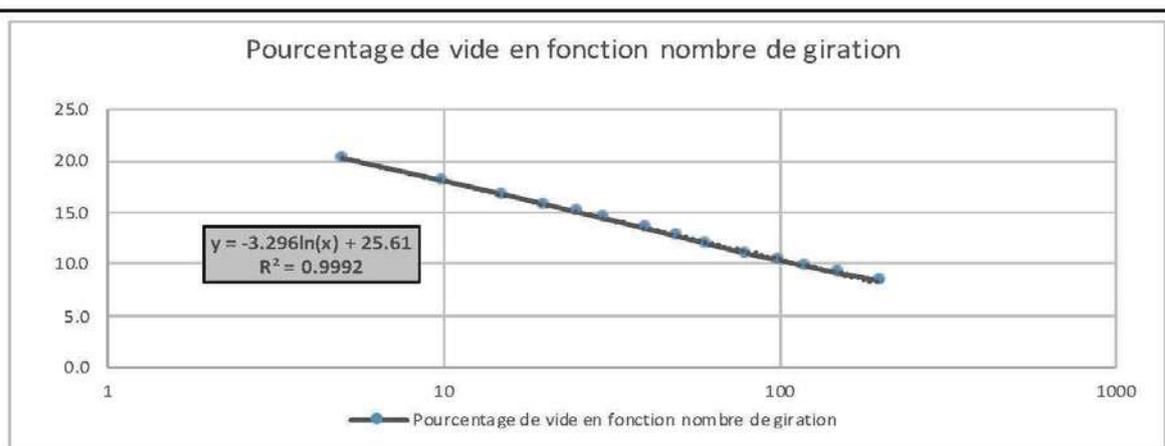
Structure	DT	Balance N°	L021.03.16
N° dossier interne	BR/MAS/2021	Etuve N°	L039.17.S.002+001
Date de la demande d'essai	/	PCG N°	L141.17.S.001
Lieu de travail	PBS	Description et état de l'échantillon (**):	MELANGE BB0/14 BMP

Méthode de production :		Laboratoire	Chantier
COMPOSITION (1)	(%)		
Fraction	/	Méthode de vérification de l'angle	Déplacement
Fraction	/	Date de confection de l'enrobé	-
Fraction	/	Date de confection des éprouvettes	6/3/21
Fraction	/	Température compactage	160
Additif	/	Condition d'essai	
Filler	/	Angle d'inclinaison	0.82
Liant	/	Vitesse de rotation	30
		Pression	600 kPa

Information de l'essai				
MVR (kg/m ³) (1)	Hmin (mm)	Diamètre de moule (mm)	Masse d'échantillon (kg)	Facteur K
2490	100	100	1.930	

Eprouvette N°	1	2	3	Hauteur moyenne (mm)	Masse volumique (kg/m ³)	Indice de vide (%)	CV
	Hauteur (mm)						
Température	150	150	150				
Girations							
5		125.06	125.76	125.4	1960.4	20.3	0.40
10		121.81	122.31	122.1	2014.2	18.1	0.29
15		119.96	120.33	120.1	2046.4	16.8	0.22
20		118.60	118.91	118.8	2070.3	15.8	0.18
25		117.55	117.83	117.7	2089.1	15.0	0.16
30		116.70	117.01	116.9	2103.9	14.4	0.19
40		115.45	115.61	115.5	2128.1	13.4	0.10
50		114.35	114.62	114.5	2147.5	12.7	0.17
60		113.43	113.87	113.6	2163.3	12.0	0.28
80		112.02	112.71	112.4	2188.1	11.0	0.43
100		111.12	111.92	111.5	2204.6	10.3	0.50
120		110.40	111.26	110.8	2218.3	9.8	0.55
150		109.50	110.57	110.0	2234.3	9.1	0.69
200		108.64	109.71	109.2	2252.0	8.4	0.70

(1): valeur transmis par le client



Observation : le mélange présente une aptitude de compactage médiocre aussi (V80 > 9%), et ce dernier est due aux même problème de granularité de mélange qui le BMP ne courige pas.

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées doivent être identifiées en « gras », les explications de ces modifications doivent être mentionnées dans la rubrique « observation » du rapport,

(**) : Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation »,

Date de réception d'échantillon :

Date d'essai : 03/06/2021

Date de rapport : 09/06/2021

Nom et Prénom du Contrôleur : BOUCHERBA. M

Visa : _____

- Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai,
- Les échantillons ont été fournis par le client, les résultats de ce rapport s'appliquent aux échantillons tels qu'ils ont été reçus, (Article 7,8,2,2 de ISO 17025)
- Le laboratoire n'est pas responsable sur les informations fournis par le client,
- L'estimation de l'incertitude de mesure sur le résultat peut être communiquée à la demande de client,
- Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du LTPS (note),

fin rapport

Liste Des Références

- [1] **Bitume Québec, (2008)** : « Guide de bonne pratique : la mise en œuvre des enrobes », Bitume Québec, Québec, Canada.
- [2] **CDC-ENR05, (2005)** : «CAHIER DES CHARGES 'ENROBES A CHAUD», Le Ministre des Travaux Publics, Algérie.
- [3] **CST COLAS, (2006)**: « Commission Scientifique et Technique», Paris, France.
- [4] **Ibrahim HACHANI, Djihad DAAS, (2013)** : « Etude d'un béton bitumineux modifié à la poudre de caoutchouc - Influence du mode de modification », UKM Ouargla, Algérie.
- [5] **BOUAZZA Mohamed Seyf Eddene, MELLAKH Abdelhafid**. ENROBE A MODULE ELEVEE : FORMULATION ET UTILISATION CAS DE FORMULATION A 4 NIVEAUX
- [6] **Le compactage des enrobes** Martin Routhier, ing.