

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Ahmed Draia Adrar
Faculté Des Sciences et de Technologies
Département Des Sciences et Technologie



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :
Master En Génie Civil
Option : Matériaux
Présenté Par :

BOUKRA BETTAYEB Oussama

ALLAOUI Kenza

THEME

**Formulation et Caractéristique d'un Béton Bitumineux à
base des Matériaux d'Adrar**

Soutenu Le 08 / 07 / 2019 Devant le membre de jury composé de :

Mme.k.Ait-Hammouda	Univ. Adrar	Président
Mr. Abbou	Univ. Adrar	Examineur
Dr.Semcha.A	Univ. Adrar	Encadreur
Dr.Akacem.M	Univ. Adrar	Co-Encadreur

Année Universitaire 2018-2019

Remerciements

Tout d'abord, nous remerciant ALLAH qui nous a donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous souhaitant adresser nos vifs remerciements à nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Nous tenant à remercier sincèrement Mr. SEMCHA, notre encadrant de mémoire de fin d'études, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche, à qui nous serons toujours reconnaissants.

Nous tenons à remercier aussi les personnes du laboratoire des travaux publics du sud (LTPS unité d'Adrar), pour leur aide et assistance durant le déroulement des expériences.

Egalement, ces remerciements vont aux tous nos enseignants chacun à son nom.

On n'oublie pas de remercier toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

الملخص :

مثل كل المناطق الصحراوية، جنوب الجزائر يعاني من الافتقار للركام ونوعيته مقارنة بالمعايير العالمية. وبالتالي ، فإن وجود مثل هذا الاستغلال للمواد المحلية أصبح ضرورياً بسبب تكلفته في جانب وتأثيره البيئي على الجانب الآخر .

يسمح هذا البحث بدراسة إمكانية تامين المواد المحلية لتحقيق الخرسانة الإسفلتية ، وذلك بفضل استخدامها في طبقة السير .

تتمثل الطريقة المتبعة في هذه الدراسة في مقارنة اثنين من المحاجر: واحد من كوسان و الاخر من المنصورية ، ودراسة خصائص الحصى للحصول على أفضل النتائج من خلال تجارب مارشال ومقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع خرسانة الأسفلت العادي .

أظهرت دراسة مجاميع جودة مقبولة من وجهة نظر الخصائص الجوهرية والتصنيعية للاستخدام في تصنيع الخرسانة الإسفلتية .

Résumé :

Le sud algérien souffre comme le reste des zones désertiques du déficit des agrégats et sa mauvaise qualité par rapport aux normes mondiale. Pour cela, la tendance à l'exploitation des matériaux locaux est devenu nécessaire en raison de son cout d'une part et environnementale d'autre part.

Ce travail permet d'étudier la possibilité de valoriser les matériaux locaux en vue de réalisation d'un béton bitumineux. Ceci, grâce à leur utilisation dans la réalisation de la couche de roulement.

L'approche adoptée dans cette étude est de comparer deux carrières : celle de KOUSSAN et celle de MANSSOURIA, et d'étudier les caractéristiques des gravions pour obtenir les meilleurs résultats par des expériences Marshall et de comparer les résultats obtenus avec ceux du béton bitumineux ordinaire.

Les granulats de la présente étude de formulation ont montré une qualité acceptable du point de vue caractéristiques intrinsèques et de fabrication pour une utilisation dans la confection d'un Béton Bitumineux BBSG 0/14.

Abstract :

Like all the desert zones, south of Algeria suffers from the lack of aggregates and its poor quality compared the universal standards. The refore, the treud of exploitation of the local materials become necessary because of its cost in oue side and its environmental effect ou the other.

This research permits to study the possibility of valorizing the local materials to realize a asphaltic concrete, thanks to their use in the realization of the wearing course.

The approach adopted in this study is to compare two quarries: that one of KOUSSAN and the other MANSSOURIA, and to study the characteristics of the gravions to obtain the

best results through the experiments of Marshall and to compare the results obtained with ones of the ordinary asphalt concrete.

The aggregates of this formulation study have shown an acceptable quality in the intrinsic characteristic point of view and the one of manufacturing for a use in the confection of a Bituminous Concrete BBSG 0/14.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	I
RESUME	II
TABLE DES MATIERES	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES PHOTOS	VI
NOMENCLATURE	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE A : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA STRUCTURE DES CHUSSEES ROUTIERES	
I.1. LA STRUCTURE DES CHUSSEES ROUTIERES	3
I.1.1. Introduction	3
I.1.2. Généralité sur les chaussées	3
I.1.3. La structure de chaussée	3
I.1.3.1. Les couches de surface	3
I.1.3.1.1. Les couches de roulement	3
I.1.3.1.2. Les couches de liaison	4
I.1.3.2. Les couches d'assise	5
I.1.3.2.1. Couche de base	5
I.1.3.2.2. Couche de foundation	5
I.1.3.2.3. L'accotement	6
I.1.3.2.4. Le fossé	6
I.1.3.2.5. La couche de forme	6
I.1.3.2.6. Le fond de forme (sol support)	6
I.1.4. Types de chaussées	6
I.1.4.1. Les chaussées souples	7
I.1.4.2. Les chaussées bitumineuses épaisses	7
I.1.4.3. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou chaussées semi rigides.	7
I.1.4.4. Les chaussées à structure mixte	7
I.1.4.5. Les chaussées à structure inverse	7
I.1.4.6. Les chaussées en béton de ciment	7
I.2. LA MISE EN ŒUVRE	8
I.2.1. Le trafic	8
I.2.2.1. Routes bidirectionnelles	8
I.2.2.1. Routes unidirectionnelles	8
I.2.2. Le climat	8
I.2.3. Les travaux préparatoires de l'assise de chausse	9
I.2.3.1 Les mesures de protection de la chaussée contre l'eau	10
I.2.3.2 Le réglage en nivellement de l'assise	10
I.2.3.3 Le reprofilage de l'assise	11
I.2.3.4 La mise en état de propreté de bitume de la surface de l'assise	12

I.2.3.5	La réalisation des couches d'interfaces	12
I.2.3.6	La couche d'imprégnation des matériaux non traités	12
I.2.3.7	La couche de protection (de cure) de l'assise traitée	14
I.2.3.8	La couche d'accrochage des matériaux bitumineux	14
I.2.4.	D'épandage des enrobés bitumineux à chaud	15
I.2.4.1.	Le matériel d'épandage	16
I.2.4.2.	Le plant d'épandage	17
I.2.5.	Les actions à mener au titre des paramètres influençant l'épandage	17
I.2.5.1.	Les réglages initiaux du finisseur	18
I.2.5.2.	La température d'épandage	18
I.2.5.3.	Le choix du mode de guidage	18
I.2.5.4.	Couches de roulement d'épaisseur inférieure à 8cm	19
I.2.5.5.	Couches de roulement épaisseur [8 à 10cm]	19
I.2.5.6.	Couches de base	19
I.2.6.	Le pré-compactage des enrobés bitumineux	20
I.2.7.	Le compactage des enrobés bitumineux à chaud	20
I.2.8.	Le matériel de compactage	21
	Conclusion	24

CHAPITRE II : LES BETONS BITUMINEUX

II.1.	Introduction	26
II.2.	Les bétons bitumineux	26
II.3.	Les types des bétons bitumineux	26
II.4.	Composition de béton bitumineux	27
II.4.1.	Liants hydrocarbonés	28
II.4.2.	Bitume	28
II.4.3.	Granulat	34
II.5.	Composants minéraux	39
II.6.	Formulation des bétons bitumineux	39
II.7.	Paramètres influençant le choix d'une formulation	39
II.8.	La compacité	41
II.9.	Les propriétés mécaniques des bétons bitumineux	41
II.9.1.	Essai Marshall (NF P98-251-2)	41
II.9.1.	Essai Duriez (NF P98-251-1)	42
	Conclusion	43

PARTIE B : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISÉS

III.1.	Introduction	45
III.2.	Caractéristique des agrégats utilisés	45
III.2.1.	Masse volumique (NF P18-560)	45
III.2.2.	Analyse chimiques sommaires (NF 15-461)	46
III.2.3.	Analyse granulométrique (NF P18-560)	47
III.2.4.	Equivalent de sable à 10% de fine (NF P18-597)	48
III.2.5.	Propreté superficielle (NF P18-591)	49
III.2.6.	Essais d'aplatissement (NF P18-561)	49
III.2.7.	Essai Los Angeles (NF P18-573)	50

III.2.8. Essai Mecro-Deval en présence d'eau (MDE) (NF P18-572)	50
III.3. Caractéristique du bitume utilisé	50
III.4. Description des différents mélanges étudiés	51
III.4.1. Détermination des mélanges étudiés	51
III.4.2. Détermination des teneurs en bitume	54
Conclusion	55
CHAPITRE IV : ESSAIS REALISES ET EXPERIMENTAUX	
IV.1. Introduction	57
IV.2. Confection des éprouvettes	58
IV.2.1. Préparation des mélanges	58
IV.2.1.1. Préparation des agrégats	58
IV.2.1.2. Préparation du liant	58
IV.2.1.3. Malaxage	58
IV.2.2. Confection des éprouvettes pour l'essai Marshall (NFP 98-251-2)	59
IV.2.2.1. Remplissage des moules et compactage	59
IV.2.2.2. Démoulage	60
IV.2.3. Confection des éprouvettes pour l'essai Duriez (NFP 98-251-1)	61
IV.2.3.1. Remplissage des moules et compactage	61
IV.2.3.2. Démoulage	62
IV.3. Équipements et procédures d'essais	63
IV.3.1. Essai Marshall	63
IV.3.1.1. Principe de l'essai	63
IV.3.1.2. Déroulement de l'essai	64
IV.3.2. Essai Duriez	65
IV.3.2.1. Principe de l'essai	65
IV.3.2.2. Déroulement de l'essai	65
IV.4. Détermination de la densité apparente par peser hydrostatique (NFP 98-250-6)	66
IV.5. Détermination de la densité théorique ou absolue	67
IV.6. Détermination de pourcentage des vides et la compacité	67
IV.7. Détermination de pourcentage d'imbibition W	68
Conclusion	68
CHAPITRE V: RESULTATS ET INTERPRETATIONS	
V.1. Introduction	70
V.2. Essai Marshall	70
V.2.1. Densité apparente et densité absolue	70
V.2.2. Pourcentage des vides	70
V.2.3. La compacité	72
V.2.4. Stabilité Marshall	73
V.2.5. Fluage Marshall	75
Conclusion	77
CONCLUSION GENERALE	79
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	81
ANNEXES	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (1): les liants utilisés en couche d'imprégnation et les dosages préconisé	12
Tableau (2): dosage pour couche de protection	13
Tableau (3): Dosage pour couche d'accrochage	14
Tableau (4) : Les effets des réglages du finisseur	17
Tableau (5): La température d'épandage	17
Tableau (6): Fractions granulaires 0/14 des BB	38
Tableau (7): Masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés (KOUSSAN)	43
Tableau (8): Masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés (MANSOURIA)	43
Tableau (9) : Analyses chimiques des agrégats utilisés (MANSOURIA)	43
Tableau (10): Analyse granulométrique des graviers utilisés (KOUSSAN)	44
Tableau (11): Analyse granulométrique des graviers utilisés (MANSOURIA)	45
Tableau (12): Equivalent de sable des deux Carrière a Adrar	46
Tableau (13): Caractéristiques des graviers utilisés	47
Tableau (14): Caractéristiques du bitume 40/50	48
Tableau (15) : Fuseau de spécifications 0/14	48
Tableau (16): Pourcentages des agrégats utilisés (BB ordinaire)	49
Tableau (17): Pourcentages des agrégats utilisés (BB de MANSOURIA)	50
Tableau (18): Teneurs en bitume	52
Tableau (19) : Variation de la densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume de (BB ordinaires)	65
Tableau (20) : Variation de la densité en fonction de la teneur en bitume (MANSOURIA)	65
Tableau (21) : Pourcentage des vides (BB ordinaires)	66
Tableau (22) : Pourcentage des vides (MANSOURIA)	66
Tableau (23) : Variation de la compacité Marshall (BB ordinaire)	67
Tableau (24) : Variation de la compacité Marshall (MANSOURIA)	67
Tableau (25) : Variation de la stabilité Marshall (BB ordinaire)	69
Tableau (26) : Variation de la stabilité Marshall (MANSOURIA)	69
Tableau (27) : Variation du fluage Marshall (BB ordinaire)	70

Tableau (28) : Variation du fluage Marshall (MANSOURIA)	70
Tableau (29) : Variation de la Quotient Marshall (MANSOURIA)	72
Tableau (30) : récapitulatif des formules retenues	72

LISTE DES FIGURES

Figure (1) : Coupe transversale schématique de la chaussée	5
Figure (2) : Types de chaussées	7
Figure (3) : La coupe type d'une chaussée routière	8
Figure (4): Les actions de compacteurs	20
Figure (5) : Compacteur pneumatique	21
Figure (6) : Compacteur à cylindre lisse	21
Figure (7) : Niveleuse	22
Figure (8) : Finisseur enrobé	22
Figure (9) : Camion d'enrobé bitumineux	22
Figure (10): Composition de béton bitumineux	24
Figure (11): Types de Liants hydrocarbonés	26
Figure (12): Séparation d'un bitume en asphaltènes, résines et huiles	27
Figure (13) : Fabrication des bitumes par raffinage du pétrole	30
Figure (14) : Principe de l'essai de pénétrabilité	31
Figure (15) : Principe de ramollissement	32
Figure (16): Les deux familles de granulats	33
Figure (17): Machine d'essai Marshall	40
Figure (18): Machine d'essai Duriez	41
Figure (19): Courbe granulométrique (KOUSSAN)	44
Figure (20): Courbe granulométrique (MANSOURIA)	45
Figure (21): Principe d'essai d'équivalent de sable	46
Figure (22): Composition granulaire (BB ordinaire)	49
Figure (23): Courbe granulométrique du mélange (BB ordinaire)	50
Figure (24): Composition granulaire (MANSOURIA)	50
Figure (25): Courbe granulométrique du mélange (MANSOURIA)	51
Figure (26) : Etape de formulation	53
Figure (27): Principe de l'essai Marshall	59
Figure (28): Variation des vides en fonction des teneurs en bitume (BB ordinaire)	66
Figure (29): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (MANSOURIA)	67
Figure (30): Variation de la compacité en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)	68

Figure (31): Variation de la compacité en fonction de teneur en bitume (MANSOURIA)	68
Figure (32): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)	69
Figure (33): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (MANSOURIA)	70
Figure (34): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)	71
Figure (35): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (MANSOURIA)	71

LISTE DES PHOTOS

Photo (1): Gisement et carrière de la production des agrégats	32
Photo (2): Vue d'une installation de concassage criblage	34
Photo (3) : Opération de malaxage	55
Photo (4) : Exemple d'éprouvettes Marshall	55
Photo (5) : Remplissage du moule	56
Photo (6) : Opération de compactage	56
Photo (7) : Opération de démoulage	57
Photo (8) : Epreuves Duriez obtenues	57
Photo (9) : Remplissage du moule	58
Photo (10): Opération de compactage	58
Photo (11) : Le bain thermostatique	60
Photo (12): Epreuve entre les mâchoires	61
Photo (13) : Les éprouvettes dans un bain normalisé de 18°C	62
Photo (14): Epreuves paraffinées	63

NOMENCLATURES

LTPS : Laboratoire des Travaux Publics du Sud (unité d'Adrar).

CTTP : organisme national de contrôle technique des travaux publics.

S.P.A : Société Par Actions.

BB : Béton Bitumineux.

TL : Teneur en bitume.

K : Module de richesse.

Σ : Surface spécifique (m^2/g).

W : Pourcentage d'imbibition.

TL : Teneur en bitume dans un mélange (%).

R : Résistance à la compression sans immersion à $18^\circ C$ (Kg/cm^2).

r : Résistance à la compression avec immersion à $18^\circ C$ (Kg/cm^2).

ML : Masse du bitume (g).

MA : Masse de mélange des agrégats (g).

P₁ : Poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'air (g).

P₂ : Poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'eau (g).

P_b : Pourcentage en poids du bitume (%).

P_s : Pourcentage en poids du sable (%).

γ_{app} : Densité apparente de l'éprouvette.

γ_b : Densité du bitume.

γ_{abs} : Densité absolue du matériau enrobé (g/cm^3).

V_v : Pourcentage volumétrique des vides de l'éprouvette (%).

γ_s : Masse volumique absolue des agrégats (g/cm^3).

γ_a : Masse volumique apparente des agrégats (g/cm^3).

ES : Equivalent de sable (%).

γ_G : Densité de l'agrégat.

PI : Poids lourd

INTRODUCTION GENERALE

Les routes dans les régions Sahariennes sont des ouvrages stratégiques pour le développement du sud Algérien. En effet le réseau routier est le seul moyen de liaison dans les différentes régions, que ce soit pour le transport des voyageurs que celui des marchandises malgré les gros efforts mis en oeuvre par les autorités Algériennes le transport routier reste le seul moyen de communication au Sahara.

La particularité de l'Algérie en tant que pays producteur du pétrole, le bitume et les produits noirs provenant du raffinage des hydrocarbures, revient à prix raisonnable et favorise la conception des routes Sahariennes. Les routes Sahariennes sont les mineures, décrites par des normes, utilisées à travers le territoire national. Malheureusement les conditions Sahariennes ont influencé négativement le comportement des chaussées qui sont détériorées dans des délais très courts.

Dans ce travail nous nous sommes préposés d'abord de comprendre et d'analyser les propriétés des bétons bitumineux, dans un contexte général pour qu'ensuite nous penchions sur la particularité des matériaux locaux de notre région d'Adrar dans la conception des couches de roulement durables.

Ce mémoire servira de recueil des normes et d'information sur les matériaux des couches de roulement des chaussées pour une conception et réalisation des routes durables pour un trafic intense en poids lourds dans les conditions arides du Sahara.

Pour aboutir à cet objectif, on a divisé le présent mémoire en deux grandes parties, partie bibliographique et partie expérimentale.

La première partie est consacrée à une revue bibliographique, dont le premier chapitre résume des généralités sur les chaussées et aussi sa structure qui comprennent les couches de surface et d'assise, déterminer les caractéristiques adéquates des constituants en fonction du trafic et du climat considérés.

Le deuxième chapitre est consacré à définir les bétons bitumineux, constitution et sollicitations engendrées ainsi que les connaissances actuelles sur les enrobés bitumineux.

La deuxième partie : comprend le programme expérimental qui est constitué de trois chapitres. Le troisième chapitre étudie la caractérisation des matériaux utilisés : granulats et le bitume afin de connaître les propriétés physico-chimiques et mécaniques et la détermination des courbes des mélanges étudiés et les teneurs en bitume.

Le quatrième chapitre présente les essais et les dispositifs expérimentaux utilisés. Dans ce chapitre, premièrement, nous répondons à la question : quelle est la formulation d'un béton bitumineux, deuxièmement, nous exposons les essais mécaniques utilisés dans ce travail : essai Marshall et essai Duriez ainsi que le principe et le déroulement de l'essai...

Dans le cinquième chapitre nous présentons la comparaison entre deux carrières et l'étude des caractéristiques des gravions pour obtenir les meilleurs résultats par les expériences Marshall et comparer les résultats obtenus avec ceux du béton bitumineux ordinaire.

Enfin nous avons terminé notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I



**GENERALITES SUR LA
STRUCTURE DES
CHAUSSEES ROUTIERES**

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA STRUCTURE DES CHAUSSEES ROUTIERES

I.1. LA STRUCTURE DES CHAUSSEES ROUTIERES

I.1.1. INTRODUCTION :

Chaque type d'enrobé est définie : premièrement par sa nature et le dosage de ses composants, deuxièmement par ses performances particulières et troisièmement par la couche de la chaussée à laquelle il est destiné.

Dans le présent chapitre, nous allons parler des généralités sur les chaussées et aussi sa structure qui comprennent (les couches de surface et d'assise), nous allons discuter à propos de couche de roulement; couche de liaison; et de définir le rôle de chaque composant. Et les types de chaussées routière avec ses composants et caractéristique.

Juste comme L'étude de la formulation des enrobés bitumineux à chaud (mélange à chaud de granulats séchés et de bitume pur) a pour but :

- De déterminer les caractéristiques adéquates des constituants en fonction de trafic et du climat considérés.
- De définir les teneurs des différents constituants qui permettent l'obtention des mélanges bitumineux les plus performants, selon leur utilisation dans un structure de chaussée (couche de base ou couche de roulement) en tenant compte de paramètres trafic et climat.

I.1.2. GENERALITE SUR LES CHAUSSEES :

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

Une chaussée est constituée d'une superposition de couches de matériaux différents dont l'ensemble est appelé superstructure et reposant sur une infrastructure. Dans l'infrastructure nous avons le sol de plate-forme et une couche de forme en cas de remblai, pour la superstructure nous avons la couche de fondation, la couche de base et la couche de surface ou le revêtement. [2]

I.1.3. LA STRUCTURE DE CHAUSSEE :

I.1.3.1. Les couches de surface :

Une chaussée se présente sous la forme d'une structure multicouche **Figure (1)**, dont laquelle on peut distinguer deux niveaux distincts.

I.1.3.1.1. Les couches de roulement :

Couche de roulement est la couche supérieure de la structure routière sur laquelle s'exerce directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. [5]

- Rôle de couche de roulement :

La couche de roulement assure le contact avec les pneumatiques. Sur elle s'exercent directement les actions du trafic et du climat.

La couche de roulement a les rôles suivants :

- Sécurité : adhérence de la chaussée.
- Confort de l'utilisateur : uni de la chaussée.
- Participation à la structure : protège les assises.
- Esthétique ou phonique.

- Les types des couches des roulements :

Il existe un très grand nombre de types de produits utilisés en couche de roulement, ils peuvent être classés suivant quatre familles : [6]

- les bétons bitumineux.
- les enduits superficiels.
- les enrobés coulés à froid.
- les revêtements en béton de ciment.

I.1.3.1.2. Les couches de liaison:

Les diverses couches d'une chaussée doivent fonctionner comme un ensemble monolithique. [6]

Le dimensionnement optimal de la chaussée implique donc un collage effectif et pérenne des couches entre elles. Ce collage des couches s'applique :

- Aux interfaces des enrobés avec les matériaux non traités.
- Aux interfaces des enrobés avec les matériaux traités aux liants hydrauliques, surtout aux interfaces enrobés-enrobés.

Une couche de liaison est ensuite à étudier dans un certain nombre de situations :

- Selon la nature de la couche de roulement, dans le cas des trafics forts et pour les couches de roulement d'épaisseur inférieure 6,5 cm.
- Si l'exigence sur le niveau d'uni est élevée, en examinant aussi la résistance à l'orniérage.
- Selon la nature des couches sous-jacentes. Ainsi sur une structure semi-rigide, la couche de liaison est indispensable lorsque la couche de roulement est mince ou très mince, et dans le cas de forts trafics.

- Rôle de couche de liaison

La couche de liaison a pour rôle essentiel :

- D'assurer une transmission aux couches inférieures plus rigides.
- D'assurer une bonne adhérence entre les couches qui l'enveloppent.

- Couche d'imprégnation et couche d'accrochage : [6]

Les couches d'imprégnation unissent les matériaux granulaires à la couche de base en enrobés.

Les couches d'accrochage unissent les couches d'enrobés entre elles.

- Produits

Il existe trois grandes familles de produits :

1. **Le bitume** : ce type de liant est utilisé à de hautes températures comme tous les enrobés "classiques".
2. **Le bitume fluidifié** : ou « cut-back »: ce type de liant contient des solvants organiques qui sont considérés comme néfastes pour l'environnement et dangereux pour les travailleurs; (quasiment plus utilisé en France).
3. **L'émulsion de bitume** : ce type de liant est reconnu comme étant performant, respecte les recommandations environnementales et est plus sécuritaire pour les travailleurs lors de leur manipulation. L'émulsion de bitume est le produit le plus utilisé en France.

I.1.3.2. Les couches d'assise: [4]

Les couches d'assise sont décrites comme suit et illustrées sur la **Figure (1)** :

I.1.3.2.1. Couche de base :

C'est la couche située sous la couche de surface assurant une protection thermique de la plate-forme (couche de forme) et assure une capacité portante du revêtement. Elle est destinée à répartir les efforts dues aux charges verticales vers les couches inférieures.

I.1.3.2.2. Couche de fondation:

C'est la couche située sous la couche de base, destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales sur le sol de fondation et à former le support du revêtement. Elle assure ensemble avec la couche de base la protection thermique de la plate-forme.

I.1.3.2.3. L'accotement :

C'est la plate-forme contiguë a la chaussée, renforcée ou non pour permettre l'immobilisation des véhicules.

I.1.3.2.4. Le fossé :

C'est une partie de la route formant une tranchée ouverte dans le terrain servant à la récolte et l'évacuation des eaux de surface.

I.1.3.2.5. La couche de forme :

C'est constituée de matériaux sélectionnés, de matériaux rapportés (remblai) ou réalisée par un traitement spécial destiné à améliorer les caractéristiques du terrain. Elle assure la protection du sol support et contribue à l'homogénéisation des caractéristiques portantes.

I.1.3.2.6. Le fond de forme (sol support) :

C'est l'ensemble des matériaux en place, existant avant les terrassements ou à défaut le déblai, qui est l'ensemble des matériaux en place obtenu après excavation.

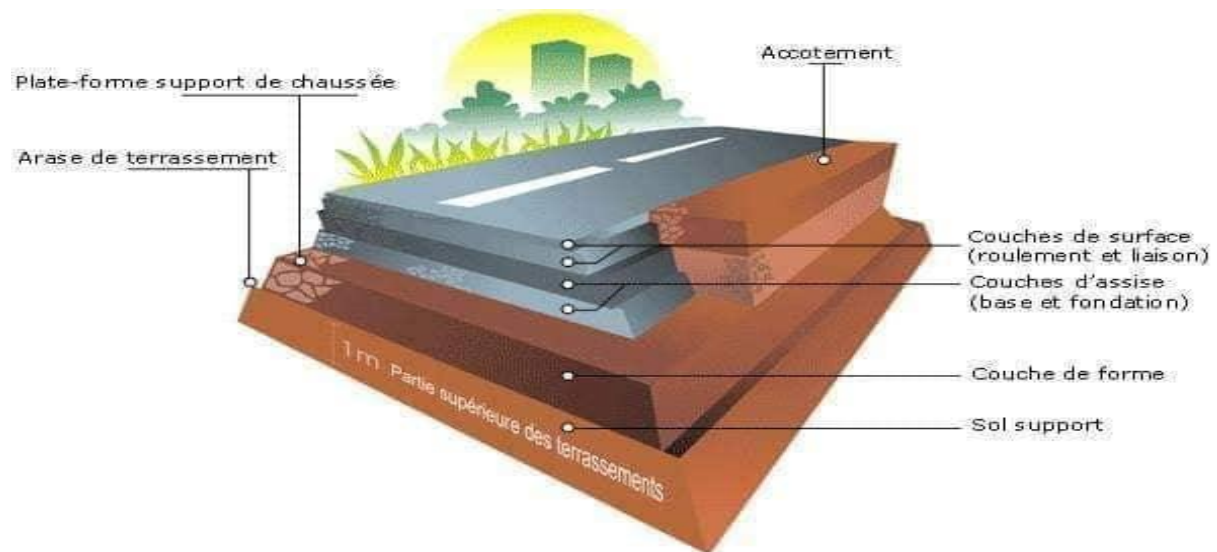


Figure (1) : Coupe transversale schématique de la chaussée [15]

I.1.4. TYPES DE CHAUSSEES: [4]

A l'image du réseau routier français, le réseau routier Algérien est caractérisé par une grande diversité de structures de chaussées que l'on peut regrouper en six grandes familles .

I.1.4.1. LES CHAUSSEES SOUPLES :

Sont constituées d'une couche de fondation en grave non traitée et d'une couche de base bitumineuse d'épaisseur inférieure à 15 cm. La couche de surface est constituée d'une faible épaisseur de matériaux bitumineux parfois réduite à un simple enduit.

I.1.4.2. LES CHAUSSEES BITUMINEUSES EPAISSES :

Sont constituées de matériaux bitumineux en assise (fondation et base) d'épaisseur totale pouvant aller jusqu'à 40 cm, recouverts d'une couche de surface bitumineuse.

**I.1.4.3. LES CHAUSSEES A ASSISE TRAITEE AUX LIANTS
HYDRAULIQUES OU CHAUSSEES SEMI RIGIDES :**

Comportent, sous une couche de surface bitumineuse, des couches de base et de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (grave ciment, grave laitier, grave-cendres volantes). L'assise a une épaisseur totale comprise entre 20 à 50 cm.

I.1.4.4. LES CHAUSSEES A STRUCTURE MIXTE :

Présentent une couche de surface et une couche de base (de 10 à 20 cm) en matériaux bitumineux sur une couche de fondation (de 20 à 40 cm) traitée aux liants hydrauliques.

I.1.4.5. LES CHAUSSEES A STRUCTURE INVERSE :

Sont des chaussées à structure mixte dans lesquelles une couche de grave non traitée vient s'intercaler entre les couches bitumineuse et hydraulique.

I.1.4.6. LES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT :

Elles sont constituées par une couche de fondation en grave ciment (15 cm), surmontée par une dalle de béton de 25 cm d'épaisseur. Des joints transversaux et longitudinaux sont réalisés tous les 4 à 5 m pour éviter une fissuration anarchique du béton.

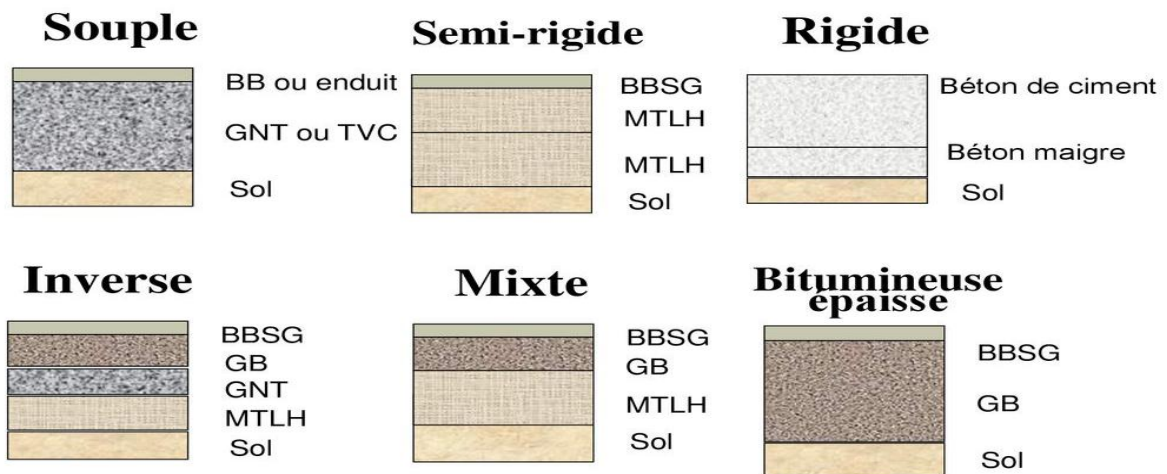


Figure (2): Types de chaussées [17]

I.2. LA MISE EN ŒUVRE :

I.2.1. LE TRAFIC :

Le trafic de véhicules poids lourd (charge utile supérieur ou égale à 3.5 tonnes) Intervient dans le critère de choix des caractéristiques des constituants des enrobés bitumineux.

Il est déterminé sur la base du trafic poids lourds par sens, compté en moyenne journalière annuelle, pour la voie plus chargée, à partir de l'année de mise en service. [10]

Lorsqu'on ne connaît pas la répartition du trafic entre les voies, pour le calcul du poids lourd, compte tenu du recouvrement des bandes de roulement, on retiendra les règles données par le guide algérien de renforcement des chaussées comme suit :

I.2.2.1. ROUTES BIDIRECTIONNELLES :

- Chaussée à 2 voies de circulation : 50% du trafic total PL des deux sens ;
- Chaussée à 3 voies de circulation : 50% du trafic total PL des deux sens ;
- Chaussée à 2×2 voies de circulation : 100% du trafic total PL des deux sens ;
- Chaussée à 2×3 voies de circulation : 80% du trafic total PL des deux sens.

I.2.2.1. ROUTES UNIDIRECTIONNELLES :

Chaussée à 1 et 2 voies de circulation : 100% du trafic total PL ; chaussée à 3 voies de circulation : 80% du trafic total PL .En Algérie , l'essieu de référence est l'essieu isolé à roues jumelées de 130 KN (essieu maximum légal). [10]

I.2.2. LE CLIMAT :

Le guide du C.T.T.P (Février 2004) : Recommandations sur l'utilisation des bitumes et des enrobés en béton bitumineux à chaud découpe géographiquement l'Algérie en trois zones :

- Zone I : côtière et humide à grande pluviométrie.
- Zone II : des hauts plateaux semi-aride à pluviométrie moyenne.
- Zone III : désertique (aride) à faible pluviométrie

I.2.3. LES TRAVAUX PREPARATOIRES DE L'ASSISE DE CHAUSSE

Avant de procéder aux travaux d'épandage et de compactage des enrobes bitumineux à chaud sur une chaussée, il impératif d'exécuter, préalablement et obligatoirement, tous les travaux préparatoires de son assise de chaussée, il faut sous-entendre: [10]

- Dans le cas d'une chaussée neuve l'ensemble des couches de fondation et de base (**Figure 3**).
- Dans le cas d'un renforcement : l'ensemble des couches existantes + une éventuelle couche de renforcement en grave – bitume (couche de base).

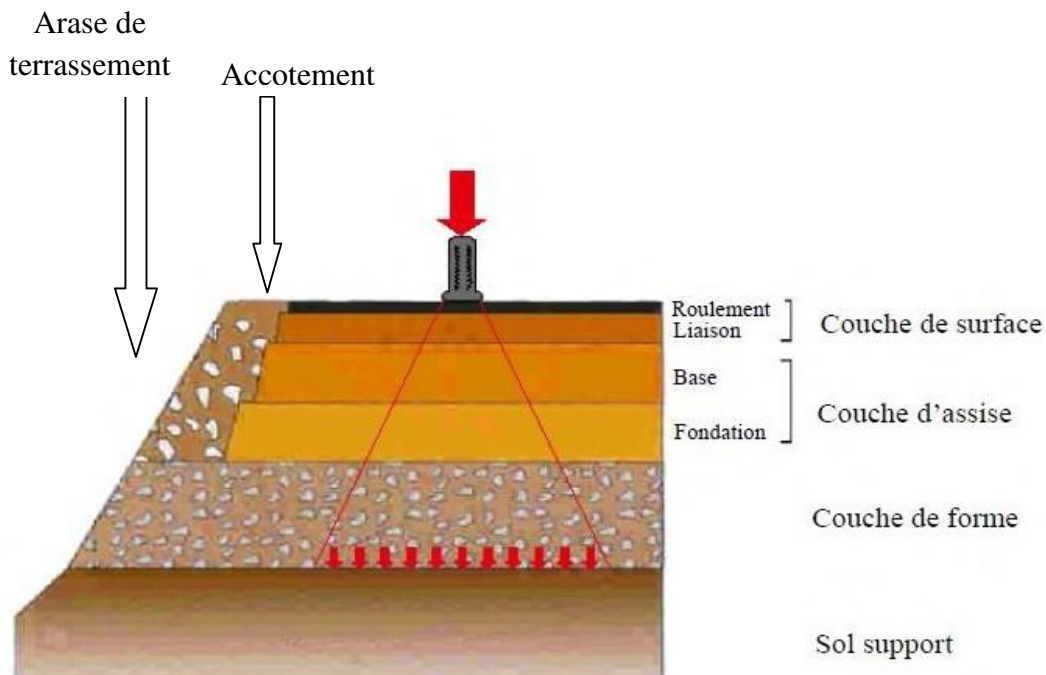


Figure (3) : la coupe type d'une chaussée routière. [10]

N.B : D'autres couches peuvent exister dans une chaussée routière telle que couche de forme (entre le sol support et la couche de fondation), etc.

Il est rappelé que la couche de roulement peut se dégrader suite à la dégradation de son assise, Ainsi on ne saurait trop insister sur la bonne exécution des travaux préparatoires de l'assise qui contribue fortement à la réussite de la mise en œuvre des enrobés bitumineux en couche de roulement et, par il est développé, ci-après, les recommandations requises au titre de cette phase [11], qui concerne les travaux préparatoires de l'assise de chaussée. Les principales à mener sont les suivantes :

- La protection de la chaussée contre l'eau.
- Le réglage en nivellement de l'assise.
- Le profilage (éventuel) de l'assise.
- La mise en état de propreté et d'humidité de la surface de l'assise.
- La réalisation correcte des couches d'interfaces suivantes :
 - La couche d'imprégnation des matériaux non tractés.
 - La couche de protection (ou de cure) de l'assise traitée aux liants hydrauliques.
 - La couche d'accrochage des matériaux bitumineux.

Ces travaux préparatoires sont valables pour la réalisation des chaussées neuves et pour les renforcements.

I.2.3.1 Les mesures de protection de la chaussée contre l'eau : [10]

L'eau (ennemi de la route) peut pénétrer dans la chaussée par la surface, des bords, les accotements ou par le bas (remontée de la nappe phréatique). L'eau infiltrée doit être évacuée par les ouvrages de drainage tandis que l'eau qui ruisselle sera évacuée par les ouvrages d'assainissement. La présence d'eau dans le corps de chaussée est nuisible, elle diminue sa portance afin de l'évacuer, il est impérative, préalablement, de prendre les mesures suivantes :

- Le « non – encaissement de la chaussée (profil en long adéquat).
- Le bon nivellement des accotements, (ils ne doivent être déformés en surface ni surélevés par rapport à la chaussée).
- La présence en nombre et en volume suffisants des ouvrages d'assainissement (fossés, buses, traversées, sous chaussée, dalots, regards, etc.), au titre des eaux de surface.
- La présence en nombre et volume suffisants des ouvrages de drainage (écrans drainants en rive, tranchées drainantes, dispositif de rabattement de la nappe phréatique), au titre des eaux internes.

NB : La couche de roulement doit être imperméable et doit présenter un dévers régulier (environ 2.5%) ; les couches d'assises doivent être protégées contre l'eau.

I.2.3.2 Le réglage en nivellement de l'assise:

Pour que la réalisation de la chaussée soit conforme aux spécifications du projet aux plans structurel et géométrique, chaque couche de l'assise doit être réglée de l'assise, en nivellement, s'effectue par rapport par rapport à des repères indépendants de la chaussée (axe, bord de la chaussée, etc.).

Le nivellement automatique par rapport à des repères indépendants de la chaussée est généralement recommandé pour la réalisation des couches d'assises de chantiers importants (durée de fabrication 100 heures ou taille 100.000 m). Le nivellement par rapport à des ouvrages liés à la chaussée est réservé, quant à lui, aux rectifications des profils en travers, l'axe ou le rebord de la chaussée existante) et à des zones urbaines ou singulières, le contrôle

du nivellement peut être manuel (par levés topographique ponctuels) ou automatique (par levés en continu). Pour la réussite du nivellement, il est recommandé d'effectuer un piquetage avant la réalisation des couches d'enrobés bitumineux.

Le piquetage consiste à reporter, sur le terrain, les positions des ouvrages rotés, par le plan général d'implantation, au moyen de piquets numérotés, solidement fixés au sol, dont les têtes sont recordées en plan et en altitude aux repères fixes, il n'est pas exécuté de décapage général si la couche de matériaux est exécutée par référence: **[10]**

- A des ouvrages longitudinaux existants ou construits préalablement en bordure de la chaussée.
- Au support existant dans ce cas, un piquetage en plan matérialisant l'axe de mise œuvre, par peinture au sol, est réalisé.

Si la couche est exécutée par rapport à une référence fixe, de type fil ou laser, l'implantation de cette référencée par topométrie, la distance entre potences doit être intérieure ou égale à 10 mètres. En l'absence de référence fixe continue, un piquetage de rive est réalisé, pour indiquer l'épaisseur à mettre en œuvre.

I.2.3.3 Le reprofilage de l'assise :

Dans le cas ou des déformations (flaches, moirées, déformations de rien, etc.). Importantes favorisent la stagnation de l'eau, l'entrepreneur effectuera un reprofilage permet de redonner à la chaussée :

- Un profil en travers correct ; pour que l'eau puisse s'évacuer normalement de la chaussée.
- Un profil en long régulier; afin d'assurer, à l'usager, une bonne sécurité et un bon confort pour une bonne exécution du reprofilage, recommande ce qui suit : **[10]**
 - Il est effectué soit par application de matériaux (traités ou non) soit par fraisage ou rabotage ou thermo reprofilage (ce dernier consiste en une remise au profil d'une chaussée bitumineuses par chauffage, fractionnement, mise en forme et ré-compactage sans enlèvement de matériaux ni apport d'enrobés neufs).
 - Le reprofilage par application de matériaux peut être effectué par des moyens manuels ou mécaniques (niveleuse, finisseur). à noter que pour une couche de reprofilage en enrobés, sur une chaussée déformée, la niveleuse est préférable.
 - Les applications manuelles, peu consommatrices de matériaux, conviennent à des réfections ponctuelles et limitées, les moyens mécaniques sont mieux adaptés aux réfections importantes ou de grande longueur (quantité de matériaux d'apport supérieur à 10 tonnes/100 mètres, rectification de déverse, etc.).
 - L'application de matériaux doit intervenir au plus tôt et être suivie d'un reprofilage soigné, pour obtenir une stabilité effective de ces matériaux lors de la pose de la couche définitive. Le compactage se fait en commençant par la partie ou l'épaisseur est la plus faible.

I.2.3.4 La mise en état de propreté de bitume de la surface de l'assise : [10]

Concernant la mise en état de la surface de l'assise, on recommande ce qui suit :

- Avant la mise en place d'une couche de matériaux bitumineux, on doit balayer et nettoyer (par grattage mécanique ou manuel) la surface de l'assise. Ceci pour éliminer les matériaux non cohérents et faciliter l'écoulement des eaux superficielles.
- Des dispositions doivent être prises pour limiter la pollution de l'environnement (tel que l'arrosage léger en période sèche, pour éviter la poussière). Concernant la couche de cure, si elle est différée, conviendra, aussi, d'arroser légèrement l'assise traitée aux liants hydrauliques, pour maintenir sa teneur en eau.
- En tout cas, l'épandage des enrobés ne se fait que lorsque l'état de surface de l'assise et les conditions météorologiques sont favorables à une bonne exécution des travaux (propreté et absence de pluie et de vent), les mêmes recommandations sont applicables pour les couches d'interfaces (d'imprégnation, de d'accrochage) qui ne peuvent se fixer que sur des surfaces propres (propreté et absence de pluie et de vent).

Les mêmes recommandations sont applicables pour les couches d'interfaces (d'imprégnation, de d'accrochage) qui ne peuvent se fixer que sur des surfaces propres.

I.2.3.5 La Réalisation des couches d'interfaces : [10]

On distingue trois couches d'interfaces (qui seront développées) :

- Couche d'imprégnation des matériaux non traités.
- Couche de protection (de cure) de l'assise traitée aux liants hydrauliques.
- Couche d'accrochage des matériaux bitumineux.

Lorsque les couches de chaussée (de roulement, de base et de fondation) sont collées, chacune d'elles ne se déforme pas uniquement en fonction de ses caractéristiques (module, épaisseur...).

Mais, aussi, fonction de celles des autres couches auxquelles elle est collée de ce fait, les contraintes aux interfaces (sommet et base de la couche collée) sont sensiblement moins importantes, dans le cas d'un mauvais collage de deux couches, l'entretien ultérieur nécessaire sera fort coûteux car il faudra faire un forçage de forte épaisseur ou enlever (par fraisage) les couches mal collées pour les remplacer.

I.2.3.6 La couche d'imprégnation des matériaux non traités : [10]

Sur une couche d'assise non traitée (de base ou de fonction). On préconise la réalisation d'une imprégnation.

Celle – ci consiste à épandre un liant susceptible de les cavités de la couches épandre un

liant susceptible de les cavités de la couches préalablement compactée, on la rend, ainsi, imperméable (hydrophobe) et on facilite son accrochage ultérieur à la couche sus – jacent en enrobé. La profondeur à atteindre varie avec la nature de la couche non traitée (1 cm est une bonne moyenne). Les recommandations liées à la couche d'imprégnation des matériaux non traités sont les suivantes :

- La viscosité du liant utilisé doit être telle qu'il ne subisse pas d'évolution avant que l'imprégnation ne s'étende à la totalité du premier centimètre de l'assise, de ce fait, les liants utilisés en couches d'imprégnation et les dosages préconisés sont représentés dans le (tableau 1).

Tableau (1): les liants utilisés en couche d'imprégnation et les dosages préconisé

Condition de en œuvre	Liants
Sur matériaux à texture ouverte	Bitume fluidifié (cut – back) 0/1 ou 10/15 (chauffée vers 60° à 70°) 0.7 à 1.2 kg/m
Sur matériaux argileux à texture fermée	Bitume chauffée (cut – back) 0/1 0.7à 1 kg/m
Quels que soient la texture et le climat (même humide)	Emulsion surstabilisée a 65% de bitume résidée à 2.5 kg/m

- L'émulsion sur stabilisée est une est une émulsion dont la vitesse de rupture est particulièrement lente ou susceptible d'être retardée par un agent physique ou chimique, de ce fait, elle mérite bien le non d'émulsion pour imprégnation .elle contient habituellement 65 % de bitume pur. Sa viscosité faiblie (2 à 4° engluer) et sa vitesse de rupture lente facilitent sa pénétration dans le grave. Lorsque le support est constitué d'une grave non traitée courante, le traitement s'effectue à des dosages variant de 2 à 2.5 kg/m².
- Dans certaines graves, malgré la lenteur de la rupture, il arrive que la pénétration soit insuffisante (surface fermée) ; il faut alors diminuer la viscosité en diluant l'émulsion. L'apport d'eau se fait généralement, sur chantier.

Dans cette opération, il est indispensable d'ajouter l'eau à l'émulsion et non pas l'émulsion à l'eau ; ceci afin d'éviter une rupture prématurée. Après dilution, la viscosité du liant est très proche de celle de l'eau Pour respecter la teneur en bitume résiduel prévue, l'imprégnation, à base d'émulsion diluée, se réalise avec des dosages plus élevés (3 à 4 kg/m²).

- Au moment de l'imprégnation, il faut que la chaussée soit sèche. Toutefois, une légère humidité rémanente dans les canaux favorise l'imprégnation.
- Il y a lieu, aussi, de permettre l'évaporation du solvant pétrolier avant la mise en place du béton bitumineux.
- Il est conseillé de ne pas imprégner en plusieurs fois, car le film de liant qui se forme à la première imprégnation risque d'empêcher la pénétration de la seconde.

I.2.3.7 La couche de protection (de cure) de l'assise traitée : [12]

Lorsque l'assise traitée aux liants hydrauliques (grave-laitier ou grave-ciment par exemple) fait l'objet d'un revêtement en enrobé, la couche de cure de cette assise devra être constituée d'une émulsion cationique. Les recommandations liées à la couche de cure sont les suivantes :

- L'émulsion cationique à 65 % de bitume sera :
 - Légèrement fluidifiée par 5 % maximum de bitume fluidifié 0/1.
 - De PH < 4 (PH faiblement acide car la prise des liants hydrauliques se fait en milieu alcalin. Une émulsion trop chargée en acide pourrait altérer les caractéristiques mécaniques de la partie supérieure de la couche).
 - Dosée à 400 ou à 500 g/m² de bitume résiduel, suivie d'un sablage ou gravillonnage (7 à 8 litres/m² de gravillons 3/8). Si ce dosage est insuffisant pour maintenir l'humidité et protéger la surface, il vaut mieux prévoir des dosages plus élevés (500 à 800 g/m², toujours exprimés en bitume résiduel).

Tableau (2): dosage pour couche de protection

Couche	Liant	Dosage
Couche de protection	Emulsion cationique PH < 4	400+500 g/m ² de bitume résiduel suivie d'un sablage ou gravillonnage (7 à 8 l/m ² de gravillons 3/8)

- Le support de la couche de protection doit être propre. Ceci peut nécessiter un prudent, mais efficace, balayage des couches en graves et un cloutage des couches en sables traités (10 litres/m² de gros gravillons, 14/20 par exemple, légèrement compactés).
- La stabilité des graves traitées aux liants hydrauliques et le développement de la prise sont très sensibles aux excès d'eau et à la dessiccation. Tant que la couche de protection n'est pas réalisée et en cas de risque de dessiccation (intervenant pendant la mise en œuvre), un arrosage modéré (mais fréquent et régulier), à la rampe fine, peut être nécessaire.
- Si la mise en place de la couche de roulement est différée ou les conditions atmosphériques sont défavorables ou la couche doit supporter une circulation de chantier, il faudra une protection plus importante. C'est, alors, un enduit superficiel (monocouche ou bicouche) qu'il faudra réaliser, suivant l'importance du trafic.

I.2.3.8 La couche d'accrochage des matériaux bitumineux : [10]

Avant le épandage d'un béton bitumineux sur une grave-bitume, d'une grave-bitume sur une autre ou d'une couche de renforcement sur une ancienne chaussée en enrobé, il est préconisé de mettre en place une couche d'accrochage à l'émulsion cationique. Les recommandations liées à la couche d'accrochage sont les suivantes :

- Le dosage en bitume résiduel doit être, au minimum, de 300 g/m² sur un support neuf et peut aller 350 g/m² sur un support ancien plus ou moins poreux. Ceci implique une mise en place régulière à l'aide d'une épandeuse dont le fonctionnement optimum nécessite l'emploi d'émulsion diluée (50% d'émulsion et 50 % d'eau) pour que le débit soit suffisant. Afin de vérifier que cette dilution n'entraîne pas de rupture dans le réservoir, un essai préalable de dilution, sur une petite quantité, est nécessaire.

Tableau (3): Dosage pour couche d'accrochage

Couche	Liant	Dosage
Couche d'accrochage	Emulsion cationique	300 g/m ² de bitume résiduel, (support neuf)
		350 g/m ² de bitume résiduel, (support ancien)

Pour une bonne réalisation de la couche d'accrochage, il faudra : [10]

- Réunir des conditions correctes de réalisation : dosage suffisant du liant, pose à la rampe, support bitumineux homogène, propre et suffisamment sec; et bonnes conditions climatiques,
- Eviter un surdosage d'émulsion car il pourrait provoquer des cloques (en cas de non rupture) et des remontées de liant dans les enrobés (au moment du compactage de ceux-ci ou sous l'action du trafic).
- Accorder suffisamment de temps pour la séparation complète du bitume et de l'eau dans l'émulsion avant de mettre la couche sous-jacente (temps de rupture).
- Interdire la circulation, si possible, sur la couche d'accrochage. Si l'on ne peut pas empêcher la circulation, on devra réduire la vitesse à un maximum de 40 Km/h.
- Planifier les travaux de manière à appliquer la quantité du liant nécessaire au taux d'une journée.
- Eviter de sabler la couche d'accrochage, sinon elle perdrait de son utilité.

I.2.4. D'épandage des enrobés bitumineux à chaud:

L'épandage est l'ensemble des opérations par lesquelles on réalise la mise en place d'une couche non compactée d'épaisseur uniforme. Ces opérations doivent répondre à trois objectifs essentiels:

- Le respect d'une épaisseur minimale en tous points et d'une faible dispersion de celle-ci ; le matériau doit être étalé de façon à se trouver en tous points dans même état de foisonnement.
- L'obtention, après compactage, d'un uni longitudinal et transversal assurant à l'utilisateur confort et sécurité.

- La conservation de l'homogénéité de composition du produit final obtenu après fabrication et transport de celui-ci.

Au titre de la phase des travaux d'épandage des enrobés bitumineux à chaud, quatre points importants sont développer :

- Le matériel adéquat à l'épandage.
- Les réglages des matériels (finisseur) et la vérification de la température.
- Le choix du mode de guidage.
- L'étude du plan d'épandage.

I.2.4.1. Le matériel d'épandage : [10]

Les matériels d'épandage des enrobés bitumineux sont dominés par les finisseurs, mais la mise en œuvre peut s'effectuer dans certains cas/ou pour d'autres matériaux au moyen d'autres types d'engins tels que les niveleuses et les auto-grades.

- **La niveleuse :**

Elle peut mettre en œuvre des matériaux pour couche de fondation, quelle que soit leur granulométrie, qu'il s'agisse d'enrobés à froid ou à chaud. La niveleuse ne doit pas être utilisée en couche de base en raison du risque de ségrégation, par contre, en couche de roulement elle ne peut mettre en œuvre que des enrobés fins ; dans ce cas elle doit être munie d'une lame arrondie et de joues latérales.

Dans le cas d'application de matériaux chauds, la niveleuse travaille difficilement et il faut un conducteur très habile pour réaliser très rapidement un profil convenable en une seule passe, avant que les matériaux ne soient refroidis.

- **Le finisseur :**

C'est un équipement mobile auto nivelant permettant des applications à vitesse et à largeur variable. Il existe trois types de finisseurs:

- Finisseur à table fixe (ancien train à béton).
- Finisseur à coffrage glissant (auto-grade).
- Finisseur à table flottante.

En fait, seul le dernier type est couramment utilisé pour la mise en œuvre des enrobés à chaud. Il peut :

- Recevoir des matériaux chauds ou froids, enrobés ou non, à partir de camions, dans un temps très court. Sa puissance doit être suffisante pour pousser les camions les plus lourds.
- Répandre ces matériaux en largeur et épaisseur variable sans ségrégation afin d'obtenir un tapis homogène.
- Précompter les enrobés mis en œuvre.

- Corriger la dénivellation de la sous-couche et donner la couche de roulement le dévers exigé.
- Se déplacer sur n'importe quelle sous-couche (ancienne, usée, disloquée, ou couche de base nouvelle).

I.2.4.2. Le plant d'épandage :

L'établissement du plan d'épandage

Le plan d'épandage définit les conditions de réalisation de l'épandage du point de vue géométrique : nombre d'engins, largeur de bande, ordre et sens de réalisation des diverses bandes. Il est étudié de manière à :

- Limiter la longueur totale des joints (longitudinaux et transversaux)
- Limiter au maximum les zones pour lesquelles il faut recourir à une mise en œuvre manuelle ou à l'aide d'un petit finisseur,
- Conserver les caractéristiques et les qualités générales de la couche mise en œuvre

La position de joints longitudinaux

Le joint longitudinal d'une couche ne doit jamais se trouver superposé au joint longitudinal de la couche immédiatement inférieure, que celle-ci soit en enrobés ou en grave traitée aux liants hydrauliques.

On adopte en général le plus grand décalage, compatible avec les conditions de circulation, au moins de 20cm sur chaussée routière.

Le joint longitudinal de la couche de roulement doit se situer au voisinage des bandes de signalisation de façon, en particulier, à ne pas se trouver sous le passage des roues. L'épandage de la nouvelle bande est conduit de façon à recouvrir sur 1 ou 2cm le bord longitudinal de la bande adjacente, les enrobés en excès recouvrant la bande ancienne sont ensuite soigneusement éliminés.

Dans le cas où finisseurs travaillant de manière adjacente à une bande déjà réalisée dont le bord est froid, le joint est traité de manière à assurer une bonne étanchéité de la couche à ce niveau.

Pour l'établissement des joints au bord de trottoirs, des caniveaux et d'autres revêtements adjacents, les vides subsistants après le passage du finisseur sont comblés à la pelle, avec de l'enrobé, de façon à ce qu'il ne reste aucune dénivellation après compactage.

I.2.5. Les actions à mener au titre des paramètres influençant l'épandage :

Les paramètres influençant l'épandage concernent les réglages initiaux du finisseur, la température de l'épandage ainsi que le mode de guidage. [10]

I.2.5.1. Les réglages initiaux du finisseur :

Les réglages à effectuer sur le finisseur sont :

- La hauteur des points d'attache.
- L'angle de réglage.
- La vitesse d'avancement [le finisseur doit avancer en continue sans à-coups, ni arrêts inutiles], la largeur d'épandage.
- La fréquence de vibration du dameur et du vibreur.
- L'alimentation en matériau devant la table.

Il est nécessaire que chacun des paramètres de la table du finisseur reste constant.

La variation de l'un des paramètres cité ci-dessus influe sur l'épaisseur et la pré-compacité de l'enrobé répandu comme illustré dans le tableau suivant : (voir **tableau 4**)

Tableau (4) : Les effets des réglages du finisseur.

	Sens de variation	
	Epaisseur	Compacité
Fréquence dameur [15-30Hz] ↗	↗	→
Fréquence vibreur [25-70Hz] ↗	→	↗
Vitesse [1-6 m/min] ↗	→	↘

I.2.5.2. La température d'épandage :

La température d'épandage est donnée en fonction de la classe de bitume comme suit (Voir **tableau 5**).

Tableau (5): La température d'épandage

Classe de bitume	Température [°C]
80/10	130-135
60/70	135-155
40/50	140-160

I.2.5.3. Le choix du mode de guidage :

Le type de guidage permet de maîtriser le niveau moyen de la couche ; Les différents modes de guidage existants sont :

- **Guidage a vis calée** : les hauteurs des articulations des bras par rapport au tracteur sont fixes.
- **Guidage manuel ou pseudo vis calée** : les hauteurs des articulations des bras sont commandées manuellement.
- **Guidage à court** : les hauteurs des articulations sont guidées par une roulette ou ski court.
- **Guidage à référence mobile** : les hauteurs des articulations sont guidées par une poutre de longueur supérieure à 11 m.
- **Guidage à référence fixe** : les hauteurs des articulations sont guidées par un fil ou rayon laser (pour une meilleure qualité de l'épandage, le mode de guidage par laser reste le mode le plus important).

Le choix du mode de guidage s'effectue selon la nature et l'épaisseur de la couche, comme suit :

I.2.5.4. Couches de roulement d'épaisseur inférieure à 8cm :

Elles sont exécutées au finisseur dont le mode de guidage est à « vis calée ». Si le support est déformé, un reprofilage préalable est nécessaire.

Dans le cas de raccordement à un ouvrage existant (bordure, couche de chaussée existante...), le finisseur est en guidage court.

Remarque : l'épaisseur minimale de mise en œuvre des bétons bitumineux 0/14 doit être en tout point de 5.5 cm.

I.2.5.5. Couches de roulement épaisseur [8 à 10cm] :

- Sur rapport déformé, elles sont exécutées en deux passes de finisseur, la première avec guidage à « référence mobile », la deuxième passe étant à « vis calée » ou en « guidage court ».
- Sur support peu déformé en une passe à « vis calée » ou en « guidage court ».

I.2.5.6. Couches de base :

Elles sont exécutées :

- Soit par guidage à **référence fixe** (fil ou laser). La qualité de la référence est dans ce cas primordiale (précision d'implantation des supports, tension des fils),
- Soit par guidage à « référence mobile » si l'uni du support dans le domaine des grandes longueurs d'onde est bon,
- Soit par guidage à « vis calée » ou en « guidage court » si l'uni du support, dans le domaine des moyennes et grandes longueurs d'onde est bon.

Remarque : l'épaisseur minimale de mise en œuvre des graves bitumes 0/20 doit être en tout point de 5.5 cm.

I.2.6. Le pré-compactage des enrobés bitumineux :

Le pré-compactage est réalisé par la vibration verticale du dameur ou de la table encore de la combinaison de ces deux éléments. [10]

Avec les finisseurs possédant une table ou un dameur vibrant, on peut atteindre un taux de compacité de 80 à 85% alors qu'avec ceux possédant ces deux éléments, cette valeur est plus élevée (elle dépend de la composition des enrobés et de la vitesse d'avancement).

Le dameur vibrant doit être placé sur toute la largeur de la table, légèrement sous le niveau de celle-ci.

Une course trop courte du dameur rend celui-ci inefficace, par contre une course trop longue peut provoquer des arrachements en surface.

La fréquence de vibration est à adapter à la composition des enrobés et à l'épaisseur de la couche, si celle-ci est faible, la fréquence doit être limitée.

Un pré-compactage élevé et uniforme est important pour la planéité finale. La table doit être bien préchauffée avant le épandage des enrobés. Ce préchauffage, qui doit être uniforme, est plus long pour les couches de surface. Une surchauffe locale de la table peut créer une déformation de celle-ci, avec pour conséquence des irrégularités de profil.

I.2.7. Le compactage des enrobés bitumineux à chaud :

Il est nécessaire de contrôler la planéité et la pente transversale de la surface derrière la table. La phase de compactage vise à augmenter la densité des couches d'enrobés bitumineux répandues afin d'améliorer leur résistance tout en conservant des caractéristiques superficielles d'uni et d'adhérence requise pour la sécurité et le confort, il donne ainsi au matériau mis en œuvre des caractéristiques définitive qui seront directement perçues par les usagers. Un bon compactage permet d'assurer. [10]

- Une meilleure résistance au fluage.
- Une amélioration de la résistance à la fatigue et par conséquent une meilleure durée de vie.
- Une bonne planéité de la surface ainsi qu'une rugosité adéquate.

Actuellement; le compactage est assuré par un mode statique sur nos chantiers, en utilisant principalement un compacteur pneumatique. Les résultats tirés des planches expérimentales réalisées principalement dans notre contexte algérien, ont incité d'introduire le mode de compactage dynamique (compacteur vibrant).

Au titre de cette phase de travaux, il nécessite le développement des quatre points importants suivants :

- Le matériel de compactage et ses caractéristiques.
- Le domaine d'utilisation des compacteurs.

- Les actions à mener au titre des paramètres influençant le compactage.
- Les types d'atelier de compactage.

I.2.8. Le matériel de compactage :

Le matériau répandu est amené à un pourcentage de vide permettant d'obtenir les performances souhaitées en utilisant l'un des modes de compactage suivant ou la combinaison de certains d'entre eux. [10]

- **Le compactage par compression** : effet de la pression de contact de la roue avec le matériau en surface.
- **Le compactage par pétrissage** : effet de la charge de la roue dans la partie inférieure de la couche.
- **Le compactage par vibration** : effet de vibration du cylindre en assurant le compactage par réarrangement des grains.

La figure ci-après présente l'action assurée par chaque type de compacteur usuellement utilisé le compactage enrobé bitumineux.

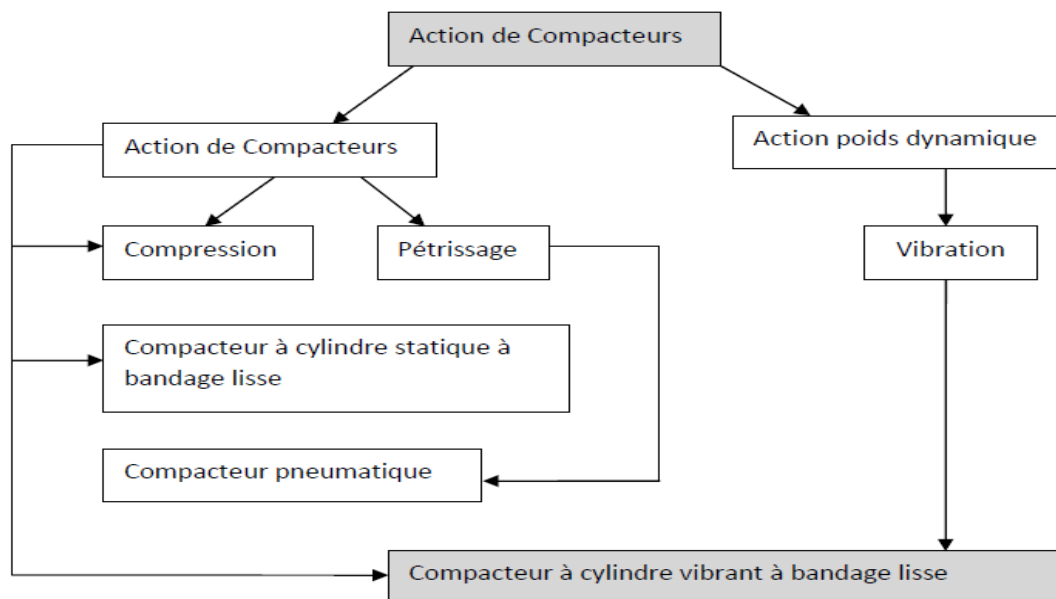


Figure (4): Les actions de compacteurs [10]

D'autres types de compacteurs tels que le compacteur mixte (pneumatique + cylindre vibrant) existent sur nos chantiers mais ne peuvent être utilisés qu'au niveau des travaux de terrassement.

Pour les zones difficilement accessibles ou de dimensions limitées, le compactage peut être réalisé à l'aide de dames, billonneuse, plaque vibrantes ou petits rouleaux de largeur adaptée. Les trois principaux types de compacteur sont présentés sur la figure ci-après :



Figure (5) : compacteur pneumatique [16]



Figure (6) : compacteur à cylindre lisse [16]



Figure (7) : Niveleuse [18]



Figure (8) : Finisseur enrobé



Figure (9) : Camion d'enrobé bitumineux [19]

CONCLUSION

L'analyse des paragraphes précédents, a permis de définir les différentes parties qui constituent les chaussées et de souligner la nécessité d'interposer, entre le véhicule et le sol, un écran qui aura pour but de répartir les charges sur la plus grande surface et de réduire ainsi les pressions transmises au sol jusqu'à une valeur admissible. En plus, l'écran-chaussée doit assurer une parfaite adhérence du véhicule à la couche supérieure de la chaussée.

L'enrobé bitumineux est ainsi soumis à des températures et des fréquences de sollicitation variables dans le temps. Les conditions de sollicitation vont également varier en fonction de la structure de la chaussée mise en œuvre et de l'emplacement considéré. Le comportement d'un enrobé bitumineux au sein d'une chaussée est donc fort complexe puisqu'il dépend à la fois de la température et des charges qui lui sont appliquées par les véhicules, ainsi que les conditions météorologiques des lieux d'emplacement des routes.

Nous avons essayé expliquer la mise en œuvre des routes avec le trafic, le climat, les travaux préparatoires de l'assise de la chaussée et de l'épandage des enrobes bitumineux à chaud.

Et nous avons atteint :

- D'autres couches qui peuvent exister dans une chaussée routière telle que la couche de forme (entre le sol support et la couche de fondation), etc.
- La couche de roulement doit être imperméable et doit présenter un déverse régulier (environ 2.5%) ; les couches d'assises doivent être protégées contre l'eau.

CHAPITRE II



LES BETONS BITUMINEUX

CHAPITRE II : LES BETONS BITUMINEUX

II.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons définir les enrobés bitumineux. Tout d'abord nous présentons brièvement quelques généralités sur l'enrobé bitumineux et ses composants (bitume et granulats) avec les caractéristiques appropriés de chacun d'eux, et quelques types de bétons bitumineux utilisés dans la couche de roulement.

Ensuite, nous étudions la formulation de l'enrobé en considérant les paramètres suivants: la teneur du bitume, la dureté du bitume et la grosseur des granulats, qui ont des influences sur la compacité, la mise en œuvre et la durabilité..., ainsi que les principaux essais de caractérisation selon les normes pour obtenir un enrobé selon le choix désiré.

II.2. Les bétons bitumineux

Béton bitumineux est un enrobé riche en bitume constitué d'un mélange de granulats (sable, gravier et fines), utilisé principalement pour les couches de roulement, c'est-à-dire pour les couches supérieures de la chaussée. Les bétons bitumineux se classent en fonction de leur granulométrie. Ils sont toujours posés sur une couche de base en matériaux hydrocarbonés ou traités au liant hydraulique ou sur une couche de liaison en enrobés pour les couches minces. [2]

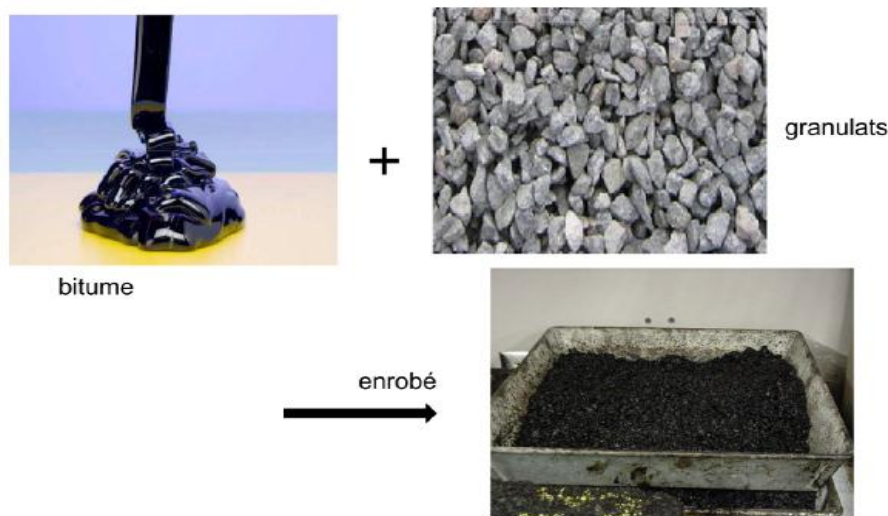


Figure (10): Composition de béton bitumineux [2]

II.3. Les types des bétons bitumineux :

On distingue de nombreux types de béton bitumineux, chacun avec ses caractéristiques et les utilisations propres: [3]

- **Le béton bitumineux mince (BBM)** : possède une granulométrie de 0/10 ou 0/14. Ce béton bitumineux est facilement compactable et est parfaitement

imperméable. Principalement utilisé pour les parkings ou les trottoirs, son épaisseur varie de 2.5 à 5 cm.

- **Le béton bitumineux très mince (BBTM)** : c'est sans doute l'enrobé le plus intéressant en termes de rapport qualité-prix. En effet, il dispose d'une très bonne durée de vie ainsi que d'une facilité de mise en œuvre. Quelle que soit la granulométrie (0/10 ou 0/6), le BBTM dispose d'une épaisseur comprise entre 1.5 et 3 cm.
- **Le béton bitumineux ultra mince (BBUM)** : destiné à une couche de roulement, c'est-à-dire en contact direct avec les pneumatiques des véhicules, il est tout indiqué pour un parking par exemple. Son épaisseur varie de 1 à 1.5 cm.
- **Le béton bitumineux souple (BBS)** : comme son nom l'indique, ce béton est constitué d'un bitume assez mou pour obtenir un enrobé déformable. Cependant, il possède une faible résistance à l'orniérage.
- **Le béton bitumineux drainant (BBDr)** : l'avantage principal de ce type de béton bitumineux réside dans son excellente adhérence, aussi bien par temps de pluie ou de forte chaleur. De plus, il réduit le bruit de roulement. Pour une allée de jardin, il est alors parfaitement adapté
- **Le béton bitumineux semi-grenu (BBSG)** : celui-ci est l'enrobé à chaud de référence. En effet, il répond à de nombreux besoins (trottoir, allée...) et est très adapté pour un trafic aussi bien moyen que lourd. Son épaisseur varie de 3 à 9 cm, suivant la granulométrie.
- **Le béton bitumineux à modules élevés (BBME)** : ce béton bitumineux fait partie des enrobés structurants. Il possède une excellente rigidité, une durée de vie importante et une bonne résistance à l'orniérage. Son épaisseur peut varier de 4 à 9 cm par couche.

D'autres aspects seront étudiés avant le choix du BB : le climat de la région sera pris en compte pour le choix du futur revêtement [1]:

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

II.4. Composition de béton bitumineux

Le béton bitumineux est composé de différents éléments :

- Gravillons.
- Sable.
- Filer.
- bitume utilisé comme liant.

Le béton bitumineux crée généralement la couche supérieure des chaussées appelée couche de surface. [2]

II.4.1 Liants hydrocarbonés

Les liants hydrocarbonés est d'une manière générale un matériau adhésif (un liant) contenant du bitume, du goudron ou les deux, cet élément agrégé avec des granulats fournit des « matériaux enrobé », la masse volumique du bitume est prise égale à 1.03 t/m^3 , également qui jouent un rôle important dans la technique routière moderne, sont connus et utilisés depuis longtemps.

On distingue trois familles de liants hydrocarbonés: [2]

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

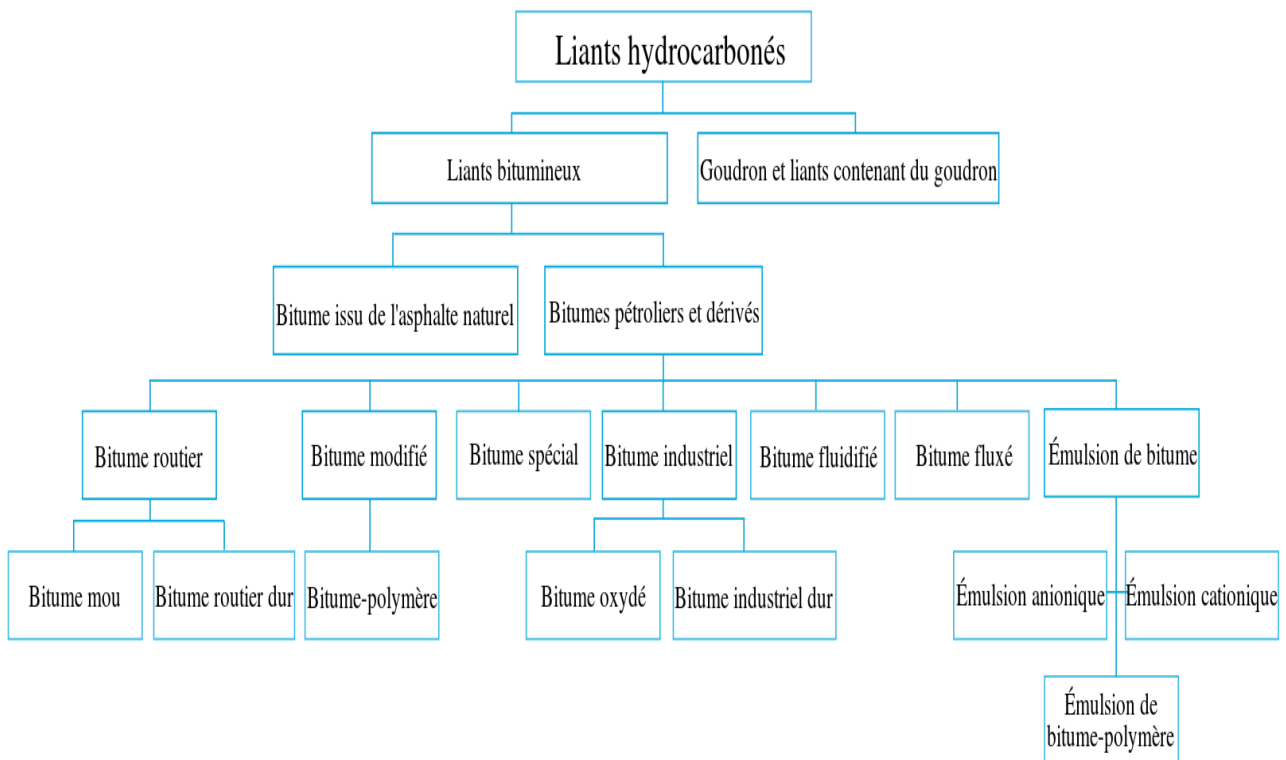


Figure (11): Types de Liants hydrocarbonés [2]

II.4.2 Bitume

Les bitumes sont des sous-produits d'hydrocarbures lourds, résidus noirs de pétrole brut obtenus soit par distillation naturelle, soit par distillation en raffinerie. Les bitumes de distillation directe sont utilisés pour la confection d'enrobés à chaud. [2]

- Historique

On distinguera, très schématiquement, les périodes suivantes :

- De 1900 à 1930 : Goudron de houille.
- De 1930 à 1950 : Emulsions de bitumes.
- Les années 70 : les bitumes polymères.
- Les années 80 : les liants modifiés et les additifs.
- Les années 90 : les bitumes spéciaux.

- Composition du bitume:

A température ordinaire, les bitumes se présentent comme des corps visqueux ou des solides susceptibles de fluer sous leurs poids propre. [1]

La séparation du bitume par solvant permet de séparer les bitumes en **asphaltènes** et en **maltènes**: les asphaltènes représentent 10 à 30% des bitumes, ils constituent la partie insoluble des bitumes dans les solvants de type n-alcanes et se présentent sous la forme d'un solide dur friable, brun-noir qui contribue largement à la couleur noir du bitume. Les maltènes, partie soluble correspondent à l'association des résines et des huiles; les résines ont un rôle essentiel vis-à-vis la stabilité colloïdale du bitume, les huiles représentent 40% à 60% du bitume. [1]

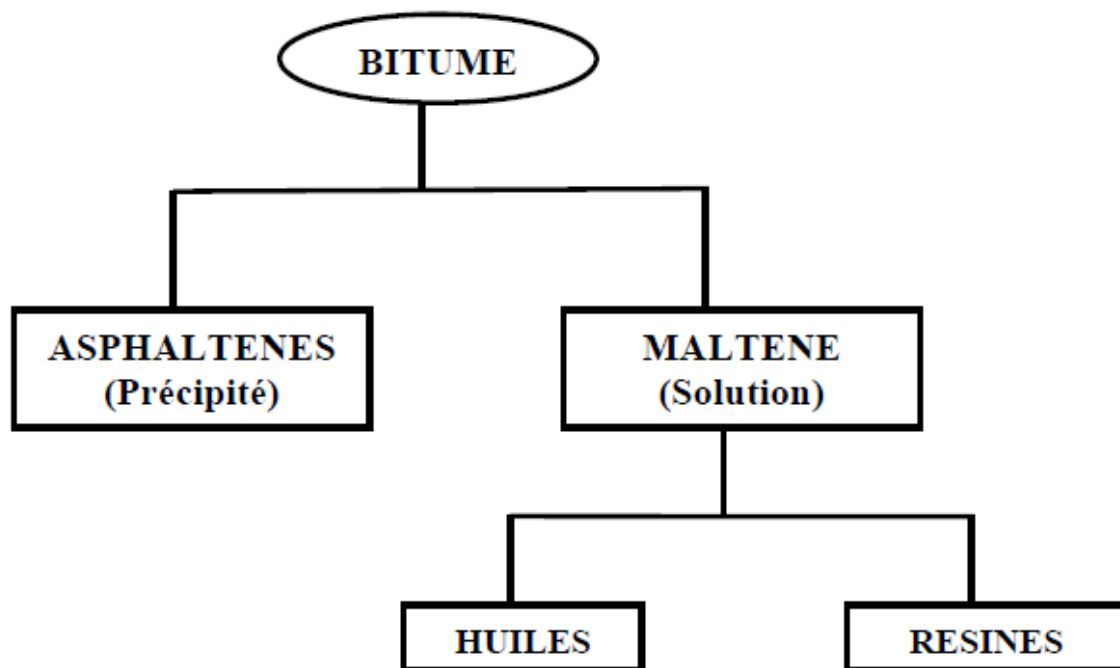


Figure (12): Séparation d'un bitume en asphaltènes, résines et huiles [1]

- Différents types de bitume

Le bitume utilisé dans les enrobés confère des propriétés viscoélastiques aux revêtements de chaussées. Un bitume ayant les caractéristiques appropriées assure des performances

élevées sur le plan de la résistance à l'orniérage, à la fissuration thermique, à la fissuration de fatigue et l'arrachement ; ses caractéristiques contribuent à la réalisation de revêtements sécuritaires, durables et économiques.

On rencontre les types suivants de liants à base de bitume :

- **Les bitumes purs**

Ils sont obtenus par raffinage de bruts pétroliers et ne comportent aucun ajout. D'après leur mode de fabrication, on peut obtenir des bitumes dont la consistance est variable. Les conditions climatiques et le type de projet déterminent le choix du type approprié .On distingue ainsi cinq principaux types de bitume allant du plus dur aux plus mous identifiés par les classes : 20/30 ; 35/50 ; 50/70 ; 70/100 et 180/220.

- **Les cut-backs**

Ce sont des bitumes fluidifiés obtenus par un mélange de bitume pur soit avec des fractions légères de distillation du pétrole telles que le kérosène, soit avec des huiles légères provenant de la distillation de la houille afin de réduire leur viscosité. À leur exposition aux conditions atmosphériques, les solvants s'évaporent et laissent le bitume semi-dur remplir sa fonction. On utilise les cut-backs pour des enrobés pour couches de scellement et couches d'accrochage.

On distingue ainsi :

- Les cut-backs à prise rapide (RC) : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'un diluant de haute volatilité comme l'huile de naphte ou de gazoline.
- Les cut-backs à prise moyenne (MC) : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'un diluant de volatilité moyenne comme le kérosène.
- Les cut-backs à prise lente (SC) : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'huiles de volatilité lente.

- **Les bitumes fluxés**

Ce sont des bitumes purs dont on a diminué la consistance par incorporation de produits provenant de la distillation du pétrole pour au moins cinquante pour cent des ajouts, et de la distillation de goudron de houille.

- **Les bitumes composés**

Mélanges comportant au moins cinquante pour cent de bitume pur. On utilise comme additifs du brai de houille ou du goudron de houille.

- **Les bitumes modifiés**

Ce sont des bitumes composés avec ajout de substances; le plus souvent macromoléculaires autres que les fines minérales ou additifs d'adhésivité.

- Les émulsions de bitume

Les émulsions de bitume sont des dispersions de fines particules de bitume dans l'eau au moyen généralement d'un agent émulsif qui est un type de savon résineux qui stabilise le produit. L'une des particularités des émulsions est qu'ils éliminent les dangers d'incendie et l'effet toxique ; ce qui n'est pas le cas pour les cut-backs.

On distingue également plusieurs types d'émulsions suivant la teneur en agent émulsif :

- Les émulsions à prise rapide (RS).
- Les émulsions à prise moyenne (MS).
- Les émulsions à prise lente.

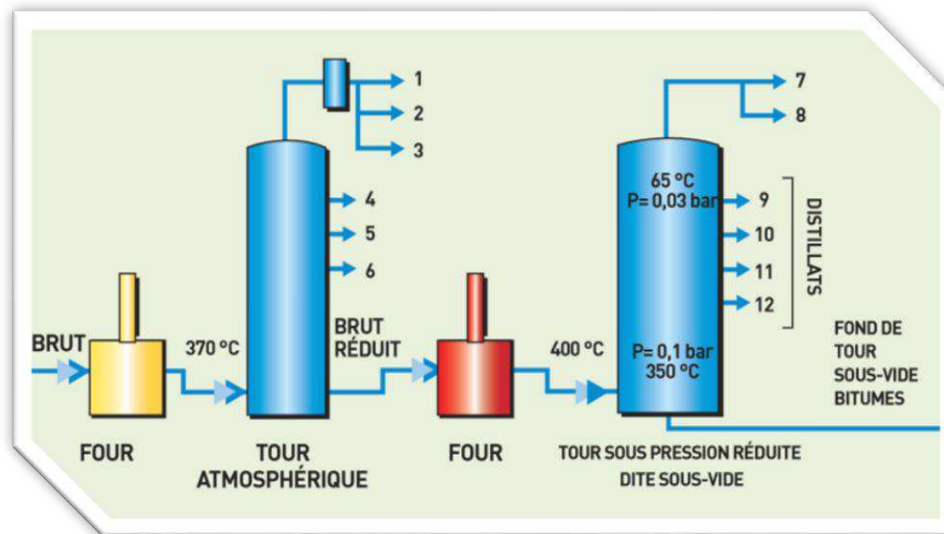
- Origine du bitume

Tous les bitumes sont des produits du pétrole brut où ils se trouvent en solution. Ils sont le résultat de l'élimination des huiles servant de solvant par évaporation ou distillation du pétrole brut. Sachant que de tels processus pourraient se produire dans la nature, au niveau des couches souterraines, les bitumes proviennent en conséquence de deux sources : naturelle ou industrielle. [9]

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

Ce dernier compose deux parties :

- **Distillation direct** : Distillation atmosphérique : Ce mode de raffinage consiste à chauffer en continu par passage dans un four, le brut préalablement décanté et dessalé. Ce brut, porté à une température voisine de 340 °C, est envoyé dans une colonne de fractionnement maintenue à la pression atmosphérique. Le produit récupéré en fond de tour est le brut réduit. [9]
- **Distillation sous vide** : A ce stade, le brut réduit provenant de la distillation atmosphérique est, après réchauffage aux alentours de 400 °C, envoyé dans une colonne où règne une pression réduite à quelques dizaines d'hPa². Il est possible, dans ce type d'unité, de fabriquer directement toutes les classes de bitumes du 20/30 au 160/220. [9]



- | | | |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1. Gaz | 5. Carburateur | 9. Gasoil sous -vide |
| 2. Essence légère | 6. Gasoil | 10. 1 ^{er} Sous -vide |
| 3. Essence | 7. Vers éjecteurs de vapeur | 11. 2 ^e Sous -vide |
| 4. White-spirit | 8. Gasoil entraîné | 12. 3 ^e Sous -vide |

Figure (13). Fabrication des bitumes par raffinage du pétrole. [9]

- Propriétés mécaniques et rhéologiques du bitume :

Le bitume confère à l'enrobé sa flexibilité et sa capacité à résister à certaines dégradations causées par plusieurs facteurs dont le trafic, les conditions climatiques du site, etc. A température de service élevée, le bitume doit demeurer suffisamment visqueux afin d'éviter que ne se produise le phénomène d'orniérage. A l'opposé, à basse température, le bitume doit conserver une certaine élasticité pour éviter le phénomène de fissuration par retrait thermique et la fragilisation de l'enrobé. Aux températures intermédiaires, il doit être résistant à la fatigue sous l'effet du trafic répété. [7]

- Essais de caractérisation des bitumes :

- Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF T66 – 004) :
- Définition

La pénétrabilité est exprimée étant la profondeur, en dixième de millimètre, correspondant à la pénétration verticale d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai du matériau, dans des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge.

- Principe d'essai :

Mesurer la pénétration d'une aiguille de référence dans l'échantillon d'essai conditionné (bitume). Les conditions opératoires qui s'appliquent aux pénétrations inférieures ou égales à

(500 x 0,1mm), sont : Température 25 °C, Charge appliquée 100g, Durée d'application de la charge 5s. Pour les pénétrations supérieures à cette limite, la température d'essai doit être de 15 °C, alors que la charge appliquée et sa durée d'application restent inchangées.

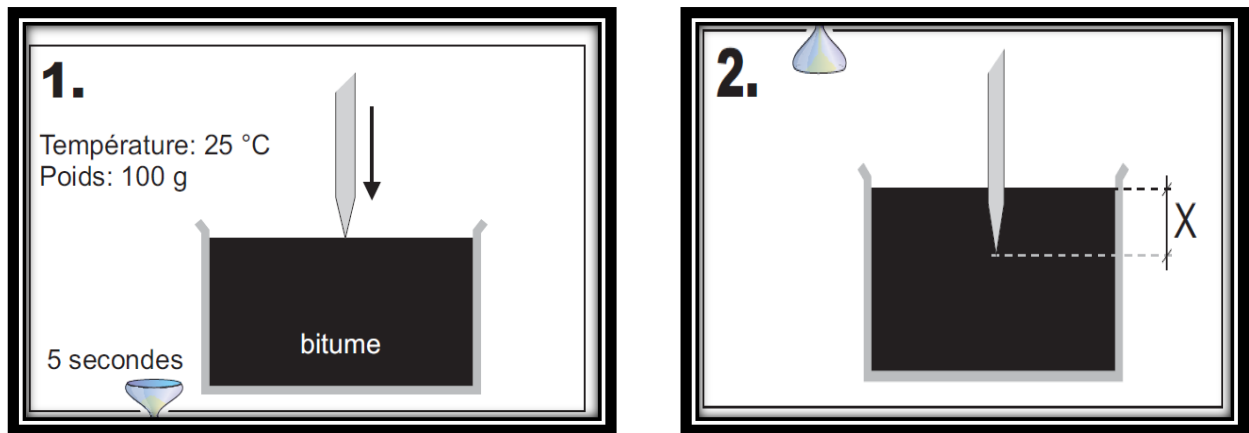


Figure (14) : Principe de l'essai de pénétrabilité. [20]

- **Essai de point de ramollissement bille et anneau (NF T66 – 008) :**

- **Définition**

Température de ramollissement c'est à laquelle le matériau dans les conditions de référence de l'essai atteint une certaine consistance. Donc cet essai concerne à déterminer la température du ramollissement des bitumes et des liants bitumineux, dans la plage des températures de 30 °C à 200 °C.

- **Principe d'essai :**

Deux disques horizontaux de bitume, moulés dans des anneaux de laiton à épaulement, sont chauffés dans un bain liquide avec un taux d'élévation de la température contrôlé, alors que chacun soutient une bille d'acier. La température de ramollissement notée doit correspondre à la moyenne des températures auxquelles les deux disques se ramollissent suffisamment pour permettre à chaque bille, enveloppée de liant bitumineux, de descendre d'une hauteur de 25mm.

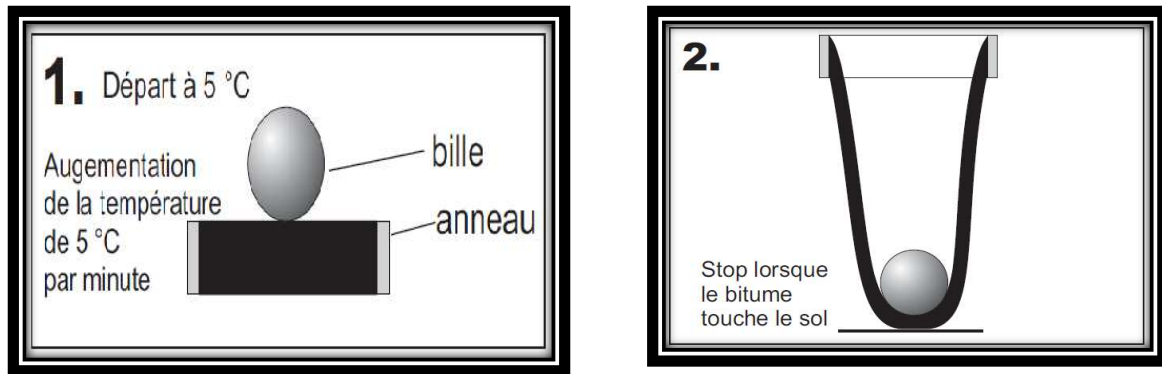


Figure (15) : Principe de ramollissement. [20]

II.4.3 Granulat

Les granulats proviennent de carrières où les roches massives sont concassées, ou bien sont d'origine alluvionnaire. [9]

Les granulats sont répartis en différentes classes granulaires normées qui sont définies par le diamètre minimal et le diamètre maximal du granulat.

L'intégration des granulats dans le mélange bitumineux nécessite de connaître différentes caractéristiques :

- Celles qui tiennent à la nature de la roche d'origine (dureté, résistance au polissage, résistance aux chocs).
- Celles qui résultent de la fabrication des granulats (propreté, forme, granularité, angularité, homogénéité).

En outre les essais mécaniques permettent d'établir un classement selon :

- La résistance à la fragmentation par les essais Los Angeles.
- La résistance à l'usure et à l'attrition par l'essai Micro -Deval humide. [9]



Photo (1): Gisement et carrière de la production des agrégats.

- Types des granulats et leur classification

Les granulats utilisés pour composer un béton sont soit d'origine naturelle, artificielle [9]

- Granulats Naturels :

Les granulats naturels d'origine minérale sont issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage). Ceux issus des gisements alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière ou en mer éventuellement. [9]

Géologiquement parlant, les granulats naturels sont de nature :

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

- Granulats Artificiels :

Les granulats artificiels sont soit des sous-produits de l'industrie sidérurgique, soit fabriqués en vue d'obtenir un produit particulier. Ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique des roches ou des minerais. Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé, obtenu par refroidissement lent à l'air ; le laitier granulé de haut fourneau, obtenu par refroidissement rapide dans l'eau et les granulats allégés par expansion ou frittage (l'argile ou le schiste expansés). Les granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usage spécifique. [9]

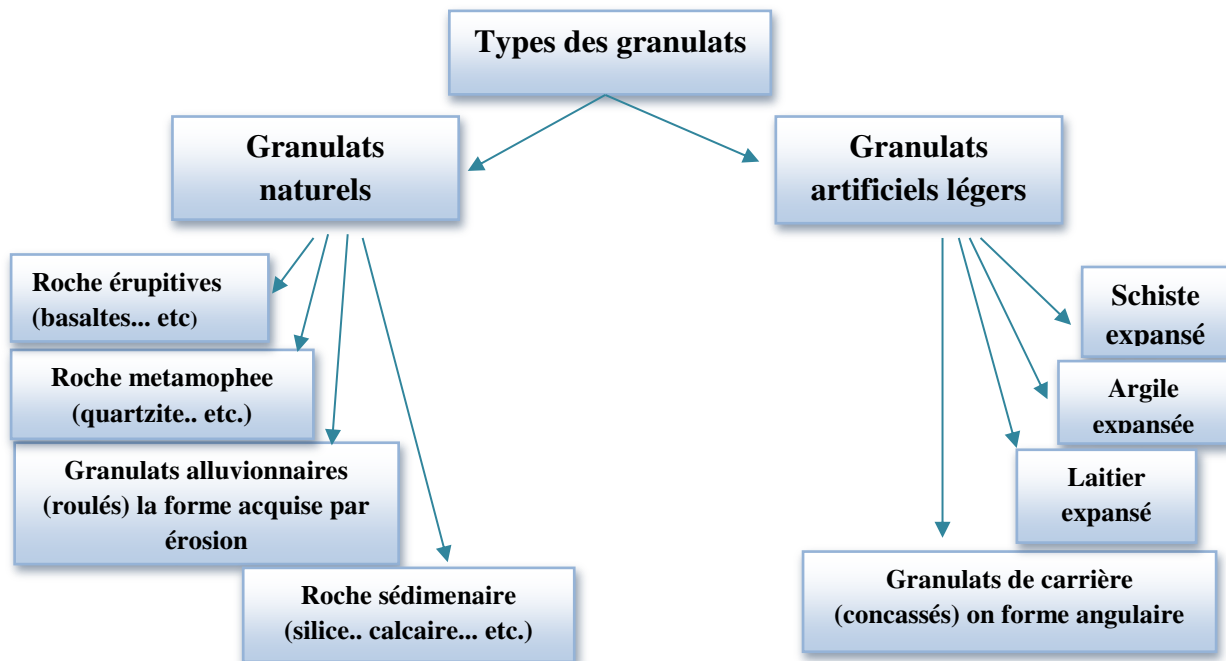


Figure (16): Les deux familles de granulats [9]

- Généralités sur les granulats routiers :

D'une manière générale, les granulats destinés à la fabrication des bétons bitumineux peuvent avoir des origines différentes : [13]

- Carrières de roches massives.
- Carrières de matériaux alluvionnaires (ballastières).

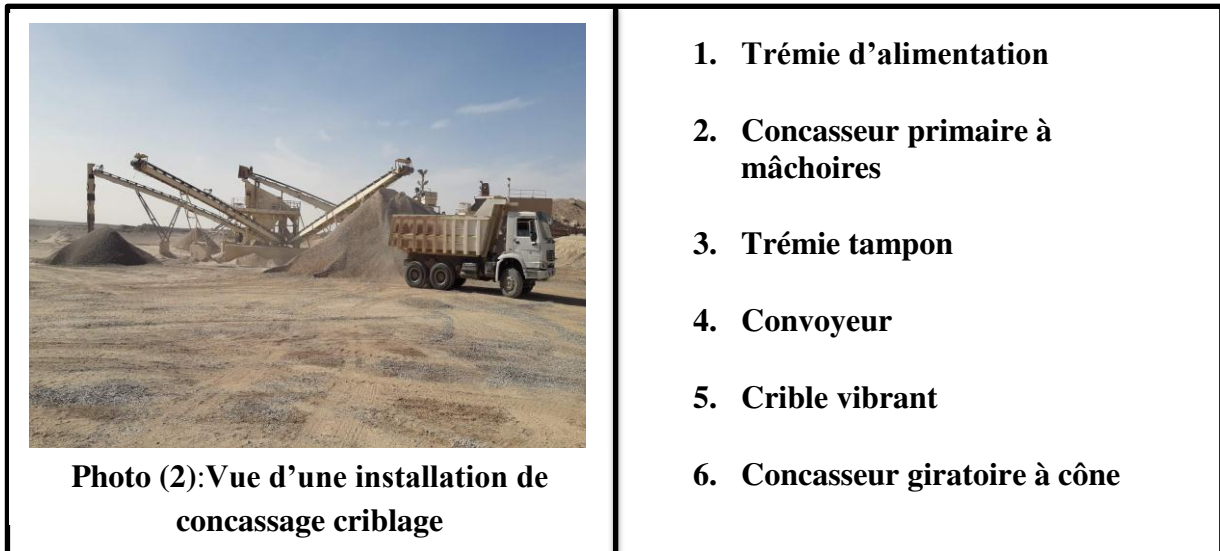
La fabrication des granulats est assurée par des installations de concassage-criblage dont la taille et la nature des différents composants varient selon l'importance des chantiers et la nature des matériaux bruts à traiter. [13]

Les équipements standards communs à toutes les installations de concassage-criblage sont :

- Trémies d'alimentation et trémies tampon.
- Concasseurs primaires à mâchoires.
- Des concasseurs giratoires à cône (secondaire ou tertiaire).
- Des cribles vibrants.
- Des convoyeurs ou sauterelles.

L'assemblage et le nombre de ces différents équipements est défini par la nature et les caractéristiques des granulats à produire, la nature du matériau brut à traiter. [13]

Les stations de concassage-criblage sont souvent caractérisées par leur capacité de production exprimée en Tonne/heure , toutes catégories confondues. [13]



Les installations de production de granulats concassés varient en fonction de la nature de la roche exploitée et du débouché commercial des granulats produits qui couvre une large gamme: 0/3, 3/8, 8/15, 15/25, 25/40 et les tout-venants de concassages 0/25, 0/40, 0/60. [13]

- **Caractéristiques et spécifications des granulats:**

Le comportement mécanique et la rhéologie des bétons bitumineux dépendent étroitement des caractéristiques physiques et mécaniques des granulats qui les constituent. On distingue deux types de caractéristiques : [13]

- **Caractéristiques intrinsèques** : elles sont liées à la nature minéralogique de la roche ou des matériaux bruts ayant servi à la fabrication des granulats. on citera l'exemple de la dureté.
- **Caractéristiques extrinsèques** : elles sont liées au mode de fabrication des granulats (granularité, propreté, forme et angularité).

- **Dureté :**

Elle est caractérisée par deux principaux coefficients : [13]

- **Coefficient Los Angeles (LA) :**

Il caractérise la résistance aux chocs des granulats . l'essai consiste à faire subir à un échantillon de granulats une série de chocs avec des boulets en acier de nuance Z 30 C13 , de 47 mm de diamètre et d'un poids de 420 à 445 g, et de déterminer la quantité de fines (éléments <1,6 mm) qui se sont produites au cours de l'essai. Le coefficient Los Angeles est calculé selon la formule suivante :

$$\underline{LA = (m/ M) x 100 \text{ où}}$$

m = masse des fines produites au cours de l'essai

M = masse de l'échantillon avant essai (M=5000g)

- **Coefficient micro Deval humide (MDE) :**

Il caractérise la résistance à l'usure des granulats. L'essai consiste à faire subir à un échantillon de granulat de masse M= 500 g , un total de 12 000 tours dans un cylindre en acier en présence d'une charge abrasive et de l'eau. La charge abrasive est constituée de 2 à 4 Kg de billes de diamètre 10 mm , en acier inox de nuance Z 30 C13. Après essai, on procède à la détermination de la masse des fines (éléments < 1,6 mm) qui se sont produites au cours de l'essai. Le coefficient MDE est calculé par la formule suivante :

$$\underline{MDE = (m/M) x 100 \text{ où}}$$

m= masse des fines produites au cours de l'essai

M= masse initiale de l'échantillon (M= 500 g)

- **Forme :**

La forme d'un granulat est caractérisée par le coefficient d'aplatissement (CA) qui représente le pourcentage d'éléments tels que $G/E > 1,58$ avec : [13]

G : grosseur du granulat

E: épaisseur du granulat

En pratique, l'essai consiste à fractionner un échantillon du matériau à tester au moyen d'une série de tamis et de passer le retenu de chaque tamis dans une grille à fentes parallèles. On détermine ensuite la masse des passants par chaque grille. Le coefficient d'aplatissement est alors calculé par la formule :

$$CA = \sum mi / M \text{ où}$$

mi = masse des passant à la grille i
 M = masse de l'échantillon soumis à l'essai

- **Propreté :**

Elle est appréciée par les essais d'équivalent de sable : [13]

- L'essai d'équivalent de sable :

Consiste à faire flocculer les particules fines contenues dans un échantillon de sable au moyen d'une solution lavante et de mesurer, après un temps de repos, la hauteur du sable sédimenté (h) et la hauteur totale sédimentée du sable et du floculat (h') . l'équivalent de sable est donné par la formule :

$$ES = (h / h') \times 100$$

- **Granularité :**

Il s'agit de définir la classe granulaire du granulat en procédant à l'essai d'analyse granulométrique par tamisage. L'essai consiste à fractionner le matériau à tester au moyen d'une série de tamis et de déterminer par suite les pourcentages cumulés des passants à chaque tamis . [13]

Un granulat est dit de classe granulaire d/D lorsqu'il satisfait aux conditions suivantes:

- Le refus au tamis d'ouverture D est inférieur à x %
- Le tamisât au tamis d'ouverture d est inférieur à x %
- Le tamisât au tamis d'ouverture d/2 est inférieur à y %

Avec :

- x = 10 si $D/d \geq 2$ et x = 15 si $D/d < 2$
- y = 3 %

Pour les sables 0/D, la dénomination d'une telle classe est valable si le refus au tamis d'ouverture D est inférieur à 10 % .

- **Angularité :**

Elle définit le pourcentage d'éléments concassés contenus dans un matériau donné. Elle est caractérisée par l'indice de concassage ou le rapport de concassage . [13]

L'indice de concassage (IC) d'un matériau d/D est égale au pourcentage de passants au tamis d'ouverture D contenus dans la matériau brut utilisé pour sa fabrication.

Le rapport de concassage (RC) d'un matériau d1/D1, fabriqué à partir d'un matériau d2/D2 est égal au rapport d2/D1 un matériau est dit concassé pur lorsque son rapport de concassage est supérieur à 4. [13]

II.5. COMPOSANTS MINERAUX

Les composants minéraux constituent environ 95% de la masse d'un enrobé bitumineux (80-85% du volume). Cette prépondérance des matériaux granulaires dans le mélange a une influence sur les caractéristiques mécaniques et sur les performances du matériau bitumineux. [1]

Les granulats sont l'ensemble des sables, gravillons ou pierres concassées qui proviennent du creusement d'un gisement ou d'une extraction à partir d'une roche mère compacte. Les granulats sont utilisés soit comme matériaux en vrac, soit après transformations (criblage, concassage, tamisage, dépoussiérage, lavage...). Les granulats sont désignés par d et D, qui représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions demandées. [2]

II.6. FORMULATION DES BETONS BITUMINEUX

Formuler un enrobé hydrocarboné est déterminer le meilleur mélange de granulats de diverses dimensions et d'un liant (le bitume) permettant d'atteindre des performances visées: imperméabilité, rugosité, résistance mécanique (à l'orniérage et la fatigue). Donc l'objectif de formulation est de déterminer un mélange de différentes classes granulaires qui constitue un squelette granulaire ayant un pourcentage de vides ni trop faible ni trop élevé. Un faible pourcentage de vide empêche l'introduction d'une quantité du liant suffisante pour enrober l'ensemble des grains sans saturer le mélange, et un pourcentage de vides élevé favorise le développement des déformations permanentes par post-compactage. [1]

Une étude de formulation d'un enrobé bitumineux comporte deux phases principales, à savoir la composition granulométrique et le dosage en liant optimale à l'aide des résultats de l'essai Marshall. [2]

II.7. PARAMETRES INFLUENÇANT LE CHOIX D'UNE FORMULATION

Les principaux caractères consistent à choisir les granulats, le liant et les ajouts utilisés pour la fabrication de l'enrobé. Ceci sur la base des considérations suivantes: [14]

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

- **Méthodologie de formulation en Algérie :**

La formulation en Algérie est basée sur la vérification des caractéristiques des composants ainsi que sur les essais Duriez et Marshall en fonction des matériaux granulaires. On choisit une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait donner une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné. Les fractions granulaires sont choisies parmi les suivantes : 0/3, 3/8, 8/15, les caractéristiques des granulats sont représentés comme suit : [2]

- Fuseau granulométrique :

Tableau (6): Fractions granulaires 0/14 des BB

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

- **Déterminations de la teneur en bitume:**

On appelle teneur en bitume la masse de liant sur la masse des granulats secs exprimé en pourcentage, pour cela on utilise la formule suivante : [1]

$$teneur\ en\ liant = \alpha \cdot k \sqrt[5]{\Sigma}$$

Avec :

- **k** : module de richesse pouvant prendre les valeurs suivantes :
 - 2 à 2,6 pour les graves bitumes (GB)
 - 3,3 à 3,9 pour un béton bitumineux (BB)
- **α** : coefficient correcteur destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats, d'où :

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

MVRg : Masses Volumiques réelles des agrégats

- **Σ** : Surface spécifique du granulat calculée par la formule :

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

Avec :

- **G** : pourcentage en poids des éléments de dimensions supérieur à 6,3 mm.
- **S** : pourcentage en poids des éléments de dimensions comprises entre 6,3 et 0,315 mm.
- **s** : pourcentage en poids des éléments de dimensions comprises entre 0,315 mm et 0,08 mm.
- **f** : pourcentage en poids des éléments de dimensions inférieurs à 0,08 mm.

II.8. LA COMPACTITE

La compacité "C" est une conséquence directe de la formulation : [1]

$$C = 100 - \% \text{ vides}$$

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

Soit :

- γ_{app} : la densité apparente de l'éprouvette.
- γ_b : la densité du bitume.
- γ_{G1} : la densité de l'agrégat 1.
- $\gamma_{G2}, \gamma_{G3}, \dots$ celles des agrégats 2, 3...etc.
- P_b : le pourcentage en poids du bitume.
- $P_{G1}, P_{G2}, P_{G3} \dots$ ceux des agrégats.

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

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

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

$$V_v = \frac{100(\gamma_{rel} - \gamma_{app})}{\gamma_{rel}}$$

La compacité C : $C = 100 - V_v$

II.9. Les propriétés mécaniques des bétons bitumineux : [2]

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

II.9.1. Essai Marshall (NF P98-251-2)

L'essai Marshall est un essai destructif, effectué en laboratoire selon un mode opératoire bien précis. L'essai permet de déterminer pour une température et une énergie de compactage données le "pourcentage de vides", la "stabilité" et le "fluage" dits Marshall d'un mélange hydrocarboné à chaud.

- Domaine d'application :

L'essai s'applique aux mélanges hydrocarbonés à chaud fabriqués en laboratoire ou prélevés sur chantier (grave bitume, béton bitumineux, et autres mélanges hydrocarbonés à chaud).

- Principe de l'essai :

L'essai consiste à compacter des éprouvettes d'enrobés par damage dans un moule cylindrique de 101,6 mm de diamètre à l'aide de chocs (cinquante coups par face) produits par la chute d'une dame de poids normalisé tombant d'une hauteur bien définie selon un procédé opératoire déterminé, puis à les soumettre à un essai de compression suivant une génératrice dans des conditions bien définies. Sur les éprouvettes ainsi confectionnées, on détermine entre autre :

- La stabilité Marshall: C'est la résistance à l'écrasement de l'éprouvette à la température de 60°C.
- Le fluage Marshall: C'est l'affaissement de la même éprouvette au moment de la rupture.



Figure (17): Machine d'essai Marshall [22]

II.9.2. Essai Duriez (NF P98-251-1)**- Domaine d'application :**

L'essai Duriez est appliqué essentiellement aux matériaux denses ou demi-denses enrobés avec du bitume, dont les agrégats passent en totalité au tamis de 20 mm (maille carrée).

- Principe de l'essai :

Cet essai consiste à déterminer la résistance à la compression d'une éprouvette d'enrobé de poids et de section déterminés. Il permet également de définir la tenue en eau dans l'enrobé à partir du rapport des résistances à la compression après et avant immersion de l'éprouvette dans un bain d'eau thermostatique.

L'essai Duriez diffère de l'essai Marshall par deux caractéristiques importantes :

- Température de l'essai, qui est de 18°C au lieu de 60°C dans l'essai Marshall.

- Mode d'application de la contrainte, qui est diamétrale dans l'essai Marshall, elle est axiale dans l'essai Duriez.



Figure (18): Machine d'essai Duriez [21]

CONCLUSION

Comme nous avons vu précédemment, le béton bitumineux est constitué de deux éléments principaux, les granulats et le bitume. La liaison entre ces deux composants est très complexe et pour formuler un enrobé convenable plusieurs critères sont à prendre en considération telle que le trafic, les conditions climatiques et les matériaux existants...etc. Le mélange bitume-agrégat obtenu doit avoir:

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

Par ailleurs les essais de caractérisation et de contrôle des bétons bitumineux nécessitent du matériel spécifique et une technicité propre, surtout dans les régions où les conditions d'exploitation sont particulièrement sévères (à l'exemple des régions sahariennes : trafic intense des poids lourds et température élevée).

CHAPITRE III



**CARACTERISTIQUES
DES MATERIAUX
UTILISÉS**

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISÉS

III.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 à base de matériaux locaux.

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

- La masse volumique.
- La granulométrie.
- La composition chimique.
- Equivalent de sable...etc.

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 .

III.2. CARACTERISTIQUES DES AGREGATS UTILISES :

Dans notre étude nous avons utilisé les agrégats de la région de KOUSSAN et MANSOURIA wilaya d'ADRAR.

III.2.1. Masse volumique (NF P18-301):

- **Masse volumique absolue :**

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

$$\gamma_s = \frac{M}{V_s}$$

Tels que:

γ_s : La masse volumique absolue (g/cm³)

M : La masse de l'échantillon (g)

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

- **Masse volumique apparente norme (NFP 94-064) :**

Par définition la masse volumique γ_A d'un échantillon est le quotient de sa masse M par son volume V_a qu'il occupe :

$$\gamma_A = \frac{M}{V_A}$$

γ_A = La masse volumique apparente (g/cm³)

M : La masse de l'échantillon (g)

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

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

Tableau (7): Masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés (KOUSSAN)

Type d'agrégats	γ_S (g/cm ³)	γ_A (g/cm ³)
Sable 0/3	1.35	2.61
Gravier 3/8	1.37	2.63
Gravier 8/15	1.64	2.65

Tableau (8): Masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés (MANSOURIA)

Type d'agrégats	γ_S (g/cm ³)	γ_A (g/cm ³)
Sable 0/3	2.40	2.68
Gravier 3/8	2.70	2.68
Gravier 8/15	2.70	2.69

III.2.2. Analyse chimiques sommaires (NF 15-461)

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

- Les Carbonates.
- Les chlorures CL^- .
- Les sulfates SO_3^- .

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

Le tableau suivant expose les pourcentages des différents composants chimiques des agrégats utilisés à MANSOURIA.

Tableau (9) : Analyses chimiques des agrégats utilisés (MANSOURIA)

composant	Pourcentage (%)			Spécification et classification
	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15	
Sulfates SO_3^- (%)	0.33	0.43	0.22	≤ 2
Carbonates (%)	6	5	7	≤ 0.01
Chlorures CL^- (%)	0.03	0.01	0.01	< 10(non calcaire)

III.2.3. Analyse granulométrique (NFP 18-560)

Cet essai a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leurs dimensions ou grosseurs pour les granulats supérieurs au diamètre 0,08 mm. Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous forme d'une courbe dite courbe granulométrique.

Le tableau ci-dessous :

Tableau (10): Analyse granulométrique des graviers utilisés (KOUSSAN)

Diamètre des tamis (mm)	Tamisât (%)		
	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15
20	-	-	100
16	-	-	99
12.5	-	-	72
10	-	100	33
8	-	99	10
6.3	-	91	2
5	100	68	1
2.5	99	4	0
1.25	62	2	
0.63	38	1	
0.315	22		
0.16	12		
0.08	1		
fond	0		

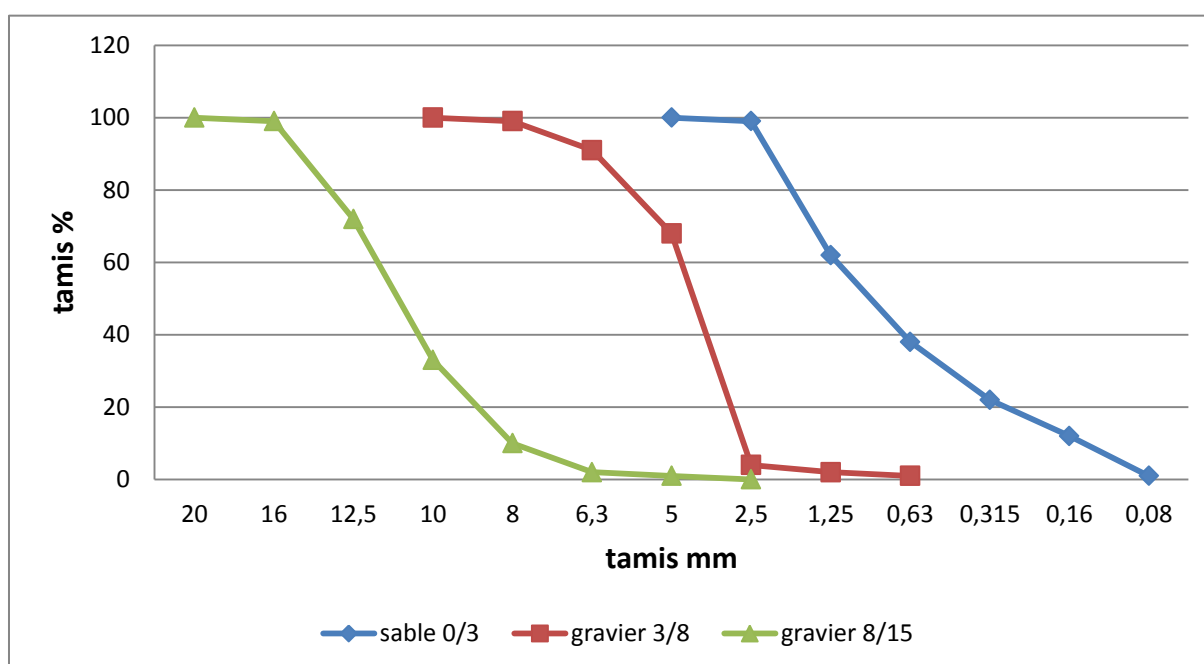


Figure (19): Courbe granulométrique (KOUSSAN)

Tableau (11): Analyse granulométrique des graviers utilisés (MANSOURIA)

Diamètre des tamis (mm)	Tamisât (%)		
	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15
2D	100	100	100
1.4D	100	100	100
D	98	86	93
D/1.4	-	48	51
d	-	03	02
d/2	-	01	01

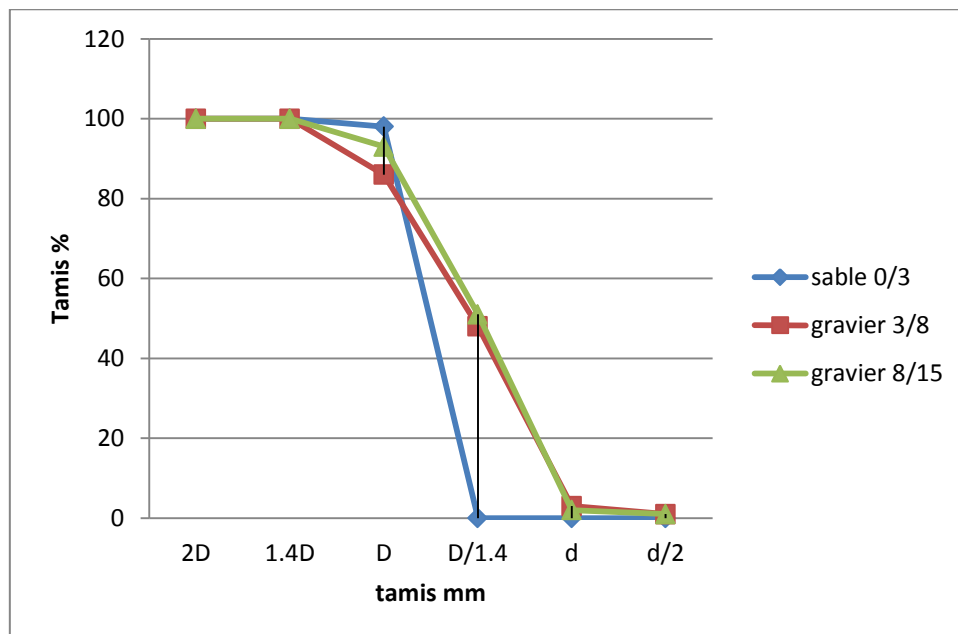


Figure (20): Courbe granulométrique (MANSOURIA)

III.2.4. Equivalent de sable a 10% de fine (NF P18-597)

L'essai consiste à introduire la fraction 0/2 mm d'un sable ayant 10% de fines dans une éprouvette graduée, puis à séparer les fines des éléments plus grossiers par immersion et agitation dans une solution flocculant de chlorure de calcium.

Après un repos de 20 min, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h1 : sable propre +éléments fine (flocculant).
- hauteur h2 : sable propre seulement.

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

$$ES = 100. h2 / h1$$

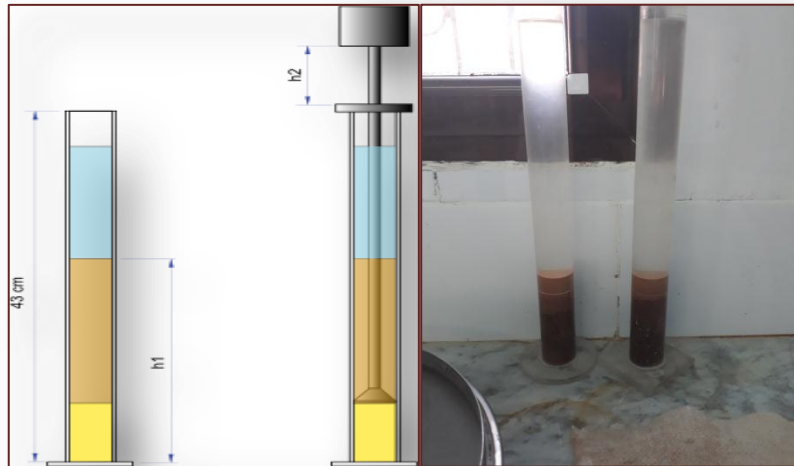


Figure (21): Principe d'essai d'équivalent de sable [23]

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant:

Tableau (12): Equivalent de sable des deux Carrière a Adrar

Type de sable	Sable 0/3 (KOUSSAN)	Sable 0/3 (MANSOURIA)	Spécifications
ES%	54.88	63.86	≥60

- **Commentaires :**

Tant que le test d'égalisation sur sable donne de bons résultats ($SE > 60$), le sable est propre (MANSOURIA). Si le résultat est faible (KOUSSAN), cela peut être dû à des prises accessoires occasionnelles de calcite ou de quartz dans le précipité ou un excès d'argile.

III.2.5. Propreté superficielle (NF P 18-591)

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral des particules inférieures à 0,5mm mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2mm. Ces particules sont séparées par lavage sur le tamis correspondant.

III.2.6. Essai d'aplatissement (NF P18-561)

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

III.2.7. Essai Los Angeles (NF P 18-573)

Cet essai permet de déterminer la résistance aux chocs des granulats. Il simule les chocs des roues des véhicules sur une route. L'essai consiste à introduire des gravillons dans le cylindre de la machine Los Angeles. Lors de sa rotation, les granulats sont heurtés par des boulets plus lourds que les gravillons. La masse des éléments inférieurs à 1,6mm à la fin de l'essai donne la résistance aux chocs du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant aux chocs.

III.2.8. Essai micro-deval en présence d'eau (MDE) (NF P 18-572)

Cet essai permet de déterminer l'usure d'une chaussée sous l'effet de frottements (pneus des véhicules).

L'essai consiste à introduire des granulats dans le cylindre de la machine MDE, avec de l'eau et des billes de taille normalisée équivalente à celle des gravillons.

Lors de la rotation du cylindre, les gravillons frottent sur les billes. La masse des éléments inférieurs à 1,6mm à la fin de l'essai donne la résistance à l'usure du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant à l'usure.

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant:

Tableau (13): Caractéristiques des graviers utilisés

Les Essais	REGION				Spécifications
	KOUSSAN		MANSOURIA		
	3/8	8/15	3/8	8/15	
Essai de propreté	3.12	0.63	2.02	1.02	≤ 2%
Essai d'aplatissement	30.78	13.57	24.22	14.42	≤ 20%
Essai los Angeles	20	14.16	20.00	18.8	≤ 25%
Essai micro Deval	40	12.6	16.5	15.1	≤ 20%

- **Commentaires :**

Après les essais sur les granulats, les résultats ont donné: les granulats de la carrière MANSOURIA sont acceptables.

III.3 CARACTERISTIQUES DU BITUME UTILISE

Le bitume utilisé est un bitume pur de classe 40/50 provenant des fondoirs du la centre bitumes NAFTAL S.P.A de GHARDAIA. Après les essais d'identification réalisés sur ce bitume dans le laboratoire LTPS on a obtenu les résultats suivants :

Tableau (14): Caractéristiques du bitume 40/50

Essai	Unité	Reference norme	Résultat	Spécifications
Densité relative à 25°C	g/cm ³	NA 5224/ NTF 66-007	1.046	1.00 à 1.10
Pénétrabilité à l'aiguille en 25°C	1/10 mm	NA 5192/EN 1426 NTF 66- 008	44	40 à 50
Point de ramollissement TBA	°C	NA 2617/EN 1427 NTF 66- 008	47	47 à 60

- **Commentaire :**

Le bitume analysé répond bien aux caractéristiques de la classe 40/50 selon la norme NA 5265

III.4. DESCRIPTION DES MELANGES ETUDIÉS

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

Tableau (15) : Fuseau de spécifications 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

III.4.1 Déterminations des mélanges à étudier:

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 notre étude nous avons comparé entre deux formulations : la première formulation

c'est BB ordinaire et deuxième c'est le gravier de MENSSOURIA. Le mélange granulométrique utilisé permet d'obtenir un mélange d'enrobé type béton bitumineux (témoin) :

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

Les tableaux suivants présentent les différents pourcentages des agrégats obtenus :

Tableau (16): Pourcentages des agrégats utilisés (BB ordinaire)

Tamis	Pourcentage passant 3/8	3/8 (20%)	Pourcentage Passant 8/15	8/15 (38%)	Pourcentage passant 0/3	0/3 (42%)	Mélange (%)
20	100	20	100	38	100	42	100
16	100	20	97	37	100	42	99
12.5	100	20	76	29	100	42	91
10	100	20	36	21	100	42	83
8	92	18	24	14	100	42	74
6.3	68	14	11	9	100	42	65
5	44	9	3	4	100	42	55
4	22	4	1	1	99	42	47
3.15	10	2	0	0	95	39	41
2.5	3	1	/		86	36	37
2	0	0	/		82	34	34
1.25	/		/		58	29	25
0.36	/		/		55	23	23
0.315	/		/		44	18	18
0.160	/		/		36	15	15
0.080	/		/		20	8	8

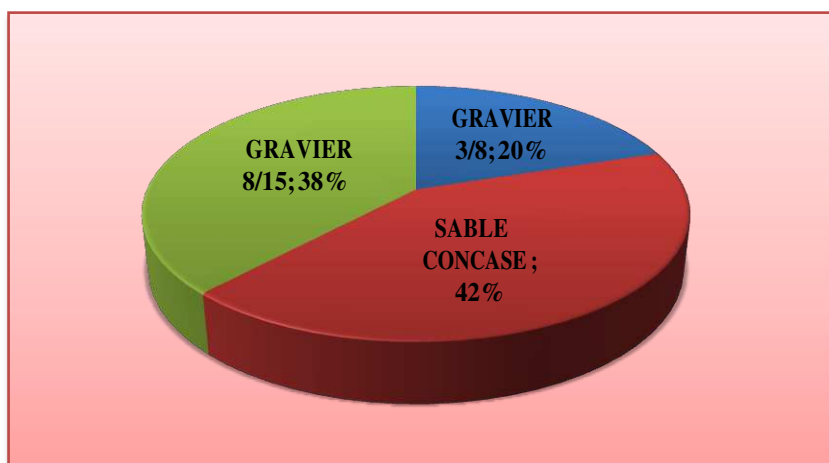


Figure (22): Composition granulaire (BB ordinaire)

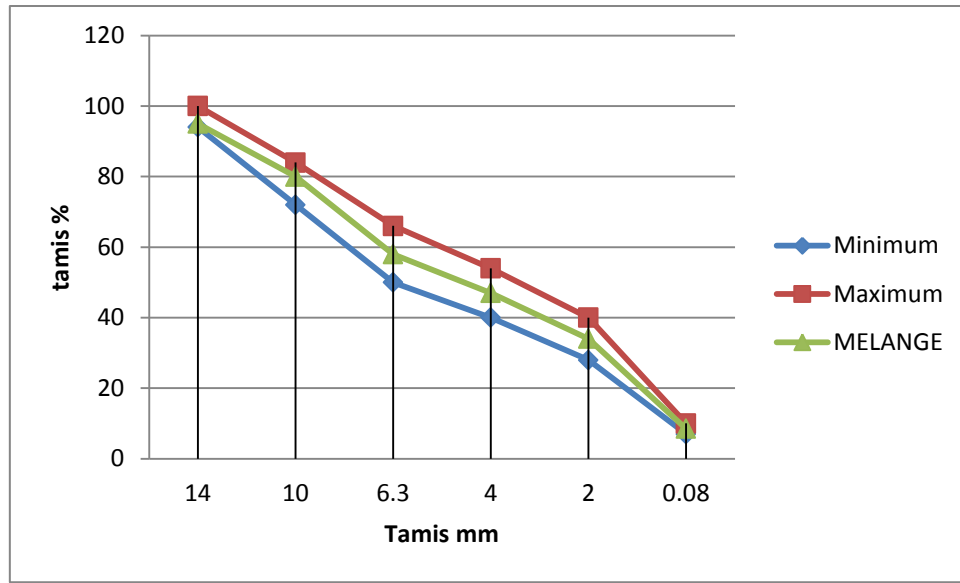


Figure (23): Courbe granulométrique du mélange (BB ordinaire)

Tableau (17): Pourcentages des agrégats utilisés (BB de MANSSOURIA)

Tamis	Pourcentage passant 3/8	3/8 (35%)	Pourcentage Passant 8/15	8/15 (20%)	Pourcentage passant 0/3	0/3 (45%)	Mélange (%)
2D	100	35	100	20	100	45	100
1.4D	100	35	100	20	100	45	100
D	86	30	93	20	98	44	94
D/1.4	48	17	51	10	-	-	27
d	03	1	02	1	-	-	2
d/2	01	1	01	1	-	-	2

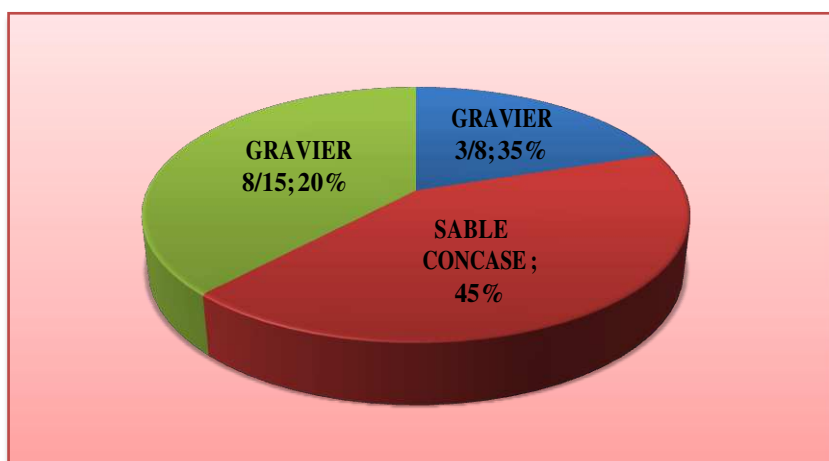


Figure (24): Composition granulaire (MANSOURIA)

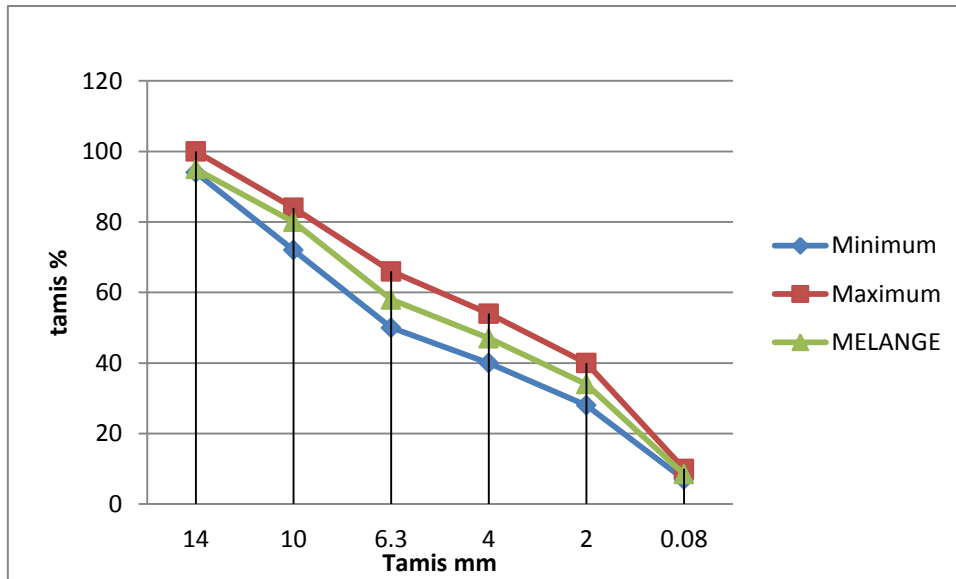


Figure (25): Courbe granulométrique du mélange (MANSOURIA)

III.4.2 Détermination des teneurs en bitume:

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

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

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

Avec :

- G: éléments supérieurs à 6,3 mm,
- S: éléments compris entre 6.3 et 0.315 mm,
- s: éléments compris entre 0.315 et 0.08 mm,
- f: éléments inférieurs à 0,08 mm.

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

$$P = \alpha \cdot k \sqrt[5]{\Sigma}$$

Avec :

- P : teneur en liant (%)
- α : coefficient destiné à tenir compte de la masse volumique réel des granulats «MVRg». Si celle-ci diffère de 2,65 t / m³, on utilise la formule suivante:

$$\alpha = \frac{2.65}{MVRg}$$

- Σ : surface spécifique des granulats (m^2 / kg),
- K : le module de richesse qui se caractérise l'épaisseur moyenne du film de bitume autour de granulats richesse (k varie pour Béton Bitumineux 0/14 de 33 à 3,90).

Les teneurs en liants en fonction des modules de richesse sont données dans le tableau

La détermination du pourcentage de bitume dépend du pourcentage des fines < 0,08 obtenu à partir de la courbe de mélange et elle dépend aussi du module de richesse.

On peut déterminer les pourcentages de bitume suivant le pourcentage des fines et les valeurs de module de richesse.

Le choix de la teneur en bitume optimale sera obtenu par la réalisation de l'essai Marshall sur des éprouvettes normalisées, correspond à une stabilité maximale.

Notons que dans le tableau ci-dessous, les teneurs en liant exprimées sont relatives au poids des granulats. Les pourcentages du liant sont rapportés au poids du mélange.

Tableau (18): Teneurs en bitume

Module de richesse (K)	$K_a=3,45$	$K_b=3.60$	$K_c=3.75$
α	1.0013		
$\sqrt[5]{\Sigma}$	1.6450		
$P = \alpha \cdot k \sqrt[5]{\Sigma}$	5.68	5.93	6.18

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons essayé d'identifier les types des agrégats utilisés dans cette étude: différentes carrières de MANSOURIA et de KOUSSAN: sable concassé 0/3, gravier 3/8 et gravier 8/15, en suivant les normes recommandées.

Après analyse des différents agrégats nous avons conclu que les granulats du concasseur (SNC BOUHAMOU MANSOURIA ADRAR), sont propres et ils ont une distribution granulométrique bien graduée.

Les granulats de la présente étude de formulation ont montré une qualité acceptable du point de vue caractéristiques intrinsèques et de fabrication pour une utilisation dans la confection d'un Béton Bitumineux BB 0/14.

CHAPITRE IV



**ESSAIS EXPERIMENTAUX
REALISES**

CHAPITRE IV : ESSAIS EXPERIMENTAUX REALISES**IV.1 INTRODUCTION**

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

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

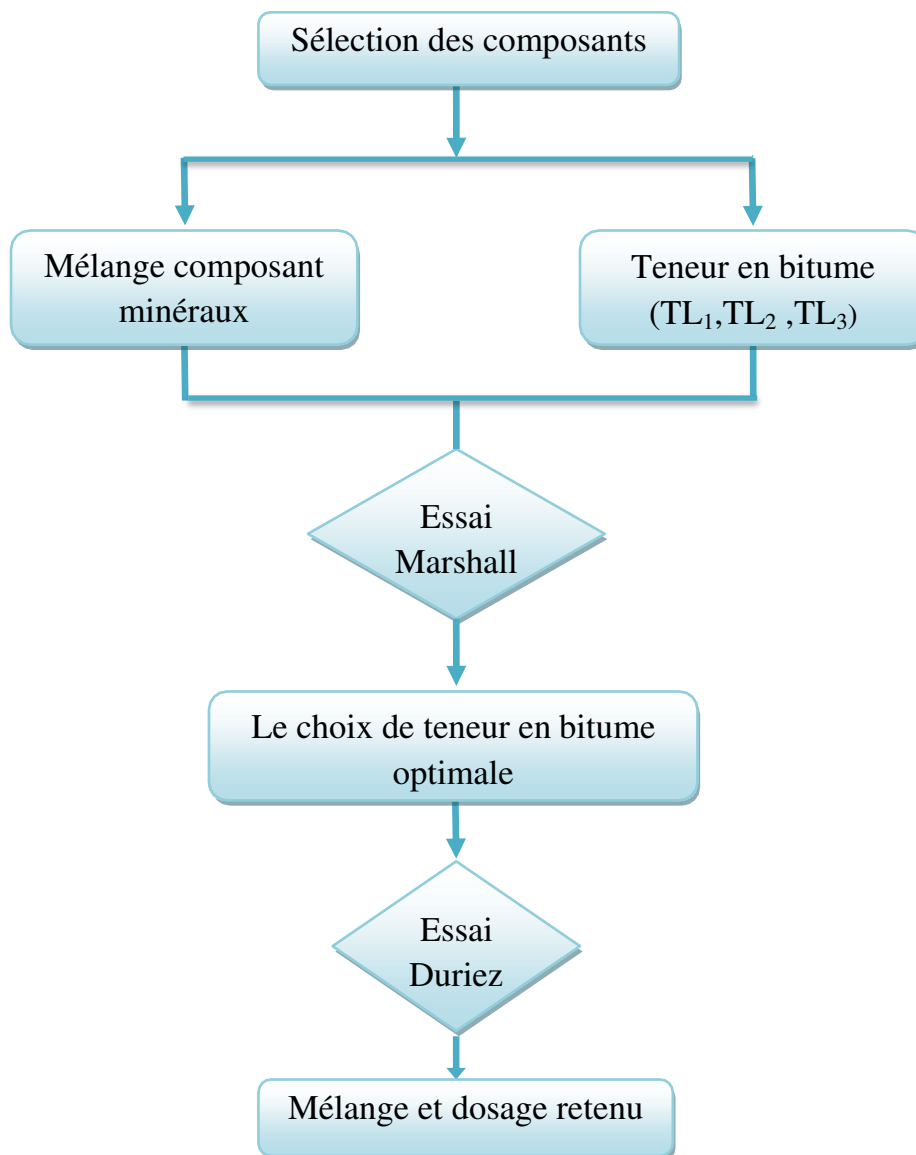


Figure (26): Etape de formulation [2]

IV.2 CONFECTION DES EPROUVETTES

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

IV.2.1 Préparation des mélanges:

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

IV.2.1.1 Préparation des agrégats:

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

Les différents agrégats sont chauffés dans des récipients dans une étuve à 160°C de température.

IV.2.1.2 Préparation du liant :

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

- Le récipient rempli et fermé, placé en étuve, est porté à la température de référence - 0°C, + 10°C en moins de 5h. (Dans notre étude la température de référence de bitume 40/50 était entre 160°C et 170°C).
- Le récipient est placé sur une plaque chauffante et son contenu est agité constamment pour homogénéiser sa température, et le maintenir à sa température de référence. Cette opération ne doit pas se prolonger plus de 10mn.
- La température de référence de préparation des mélanges est définie suivant la catégorie de liant hydrocarboné utilisée comme suit (NFP 98-250-1):
 - Bitume 80/100 : 140°C ± 5°C
 - Bitume 60/70 : 150°C ± 5°C
 - **Bitume 40/50 : 160°C ± 5°C**
 - Bitume 20/30 : 180°C ± 5°C

IV.2.1.3 Malaxage :

La cuve contenant les agrégats à mélanger est installée sur le malaxeur en essayant de limiter au maximum les déperditions de température. Le malaxeur (voir la photo (3)) est actionné pendant 30 s ± 5s afin de bien homogénéiser les sables.

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

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

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

$$ML = \frac{(MA \times TL)}{100}$$

Où :

ML : la masse de bitume utilisé.

MA : la masse de mélange des agrégats utilisés.

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



Photo (3) : Opération de malaxage

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

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



Photo (4) : Exemple d'éprouvettes Marshall

IV.2.2.1 Remplissage des moules et compactage :

On pèse une quantité m égale 1200 g de mélange à 0,1% près en valeur relative. Après avoir placé un disque de papier en fond de moule, les moules sont portés à la température de

référence de préparation des éprouvettes 2 h au minimum, et on mit en place la hausse puis on introduire le mélange en une seule fois dans le moule légèrement enduit d'oléate de soude glycérociné(photo (5)). Ensuite, on place le deuxième disque de papier sur le mélange. Mettre le moule de l'appareil de compactage on compacte le mélange 50 coups de marteau de la dame en $55 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ (voir la photo (6)). On démonte et remonte le moule en intervertissant la base et la hausse et on répète à nouveau le damage. Le nombre total des coups est 100 coups.

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



Photo (5) : Remplissage du moule



Photo (6) : Opération de compactage

IV.2.2.2 Démoulage :

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

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

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

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

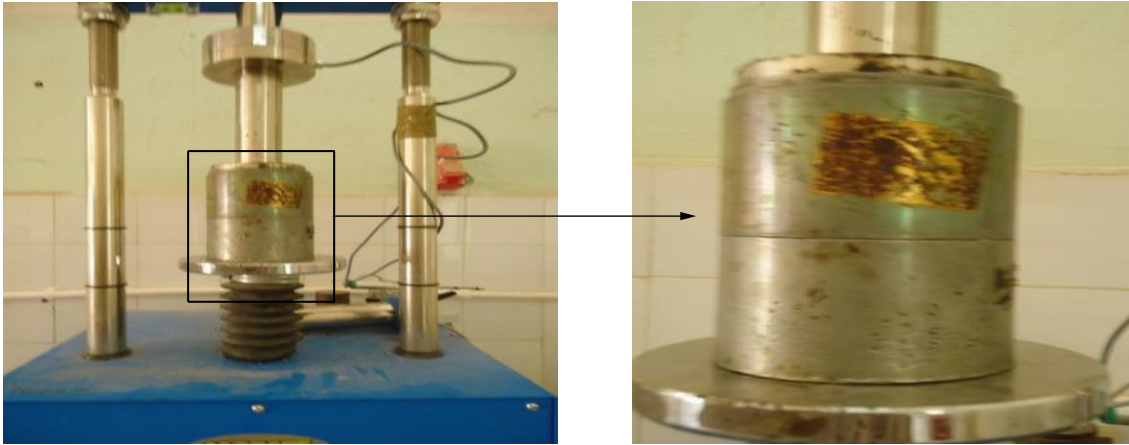


Photo (7): Opération de démoulage

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

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



Photo (8) : Eprouvettes Duriez obtenues

IV.2.3.1 Remplissage des moules et compactage :

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

On ajuste le cylindre plein et on porte le tout entre les plateaux de la presse. Le compactage des éprouvettes doit être réalisé par double effet (les opérations doivent être menées de manière à éviter au maximum les déperditions de température). On maintient la pression cinq minutes sachant que la charge appliquée est de l'ordre $60 \text{ KN} \pm 0,5\%$.

Les éprouvettes sont conservées couchées dans leur moule au minimum 4 h jusqu'à retour à la température ambiante, puis elles sont démoulées.



Photo (9) : Remplissage du moule



Photo (10): Opération de compactage

IV.2.3.2 Démoulage :

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

Les paramètres issus de cet essai sont :

- La densité apparente de l'éprouvette.
- La densité vraie ou théorique (absolue) de l'éprouvette.
- Compacité de l'éprouvette.
- % des vides résiduels ou vides de l'éprouvette.
- % des vides comblés par le bitume.
- La résistance à la compression " r " après immersion 7 jours à 18°C en Kg/cm².
- La résistance à la compression " R " avant immersion à 18°C en Kg/cm².
- Le rapport " r/R ".
- Le pourcentage d'imbibition W.

IV.3 ÉQUIPEMENTS ET PROCEDURES D'ESSAIS

IV.3.1 Essai Marshall :

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

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

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

IV.3.1.1 Principe de l'essai :

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

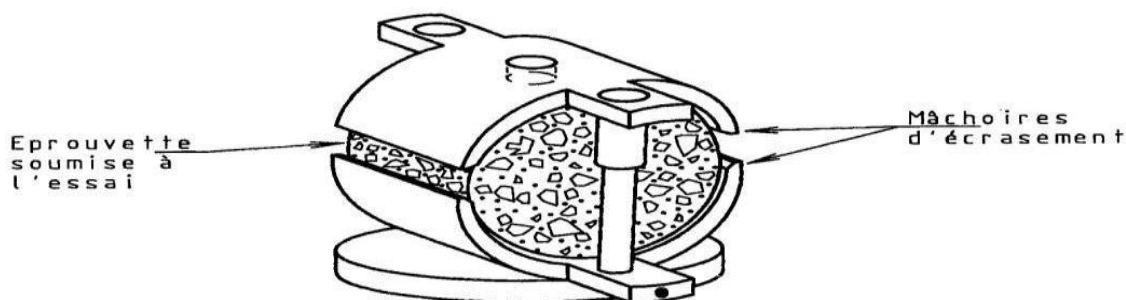


Figure (27): Principe de l'essai Marshall [1]

IV.3.1.2 Déroulement de l'essai :

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

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

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

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

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



Photo (11) : Le bain thermostatique



Photo (12): Eprouvette entre les mâchoires

IV.3.2 Essai Duriez :

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

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

IV.3.2.1 Principe de l'essai:

Les éprouvettes nécessaires à la réalisation de l'essai sont fabriquées par compactage statique à double effet.

Les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression après conservation à 18 °C dans des conditions définies : à l'air pour certaines éprouvettes, en immersion pour d'autres durant 7 jours. La tenue à l'eau est caractérisée par le rapport des résistances avant ou après immersion.

IV.3.2.2 Déroulement de l'essai:

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

À jour J + 8, les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression, qu'elles aient été conservées avec ou sans immersion. Pour chaque éprouvette, le délai entre la sortie du dispositif de maintien en température et le début de l'écrasement est inférieur à 2 min. La vitesse du plateau de la presse est réglée à $1\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$. La résistance à la compression

simple est déterminée à partir de la charge maximale à la rupture de l'éprouvette d'essai exprimée en Kg, en divisant sur 50, on a la résistance à la compression exprimée en Kg/cm^2 qu'on s'appelle stabilité Duriez.

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



Photo (13) : Les éprouvettes dans un bain normalisé de 18°C

IV.4 DETERMINATION DE LA DENSITE APPARENTE PAR PESEE HYDROSTATIQUE NFP 98-250-6

L'éprouvette prévue pour cette mesure est pesée après sa confection et après immergée dans un bain de paraffine fondue (photo (14)). Elle est repesée à la balance hydrostatique, d'abord dans l'air puis dans l'eau, suspendue à un fil métallique. Ces différentes pesées permettent le calcul de la densité apparente. Soit P_0 le poids de l'éprouvette avant paraffinage,

P_1 : le poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'air,

P_2 : le poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'eau.

La différence ($P_1 - P_2$) correspond au volume de l'éprouvette enduite.

Le volume de la paraffine se calcule, en considérant sa densité égale à 0.9, suivant la formule:

$$(P_1 - P_0)/0.9$$

- Le volume de l'éprouvette nue est donné par :

$$V_0 = (P_1 - P_2) - (P_1 - P_0)/0.9$$

- La densité apparente cherchée se déduit par :

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



Photo (14): Eprouvettes paraffinées

IV.5 DETERMINATION DE LA DENSITE THEORIQUE OU ABSOLUE

Soit :

- γ_{app} : la densité apparente de l'éprouvette.
- γ_b : la densité du bitume.
- γ_{S1} : la densité de sable 1.
- $\gamma_{S2}, \gamma_{S3} \dots$ celles des sables 2, 3...etc.
- P_b : le pourcentage en poids du bitume.
- $P_{S1}, P_{S2}, P_{S3} \dots$ ceux des sables.

Donc la densité absolue du matériau enrobé en (g/cm^3) :

$$\gamma_{abs} = \frac{100 + P_b}{(P_b/\gamma_{sb}) + (P_{S1}/\gamma_{S1}) + (P_{S2}/\gamma_{S2}) + \dots}$$

IV.6 DETERMINATION DES VIDES ET COMPACTITE :

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

$$V_v = 100 \frac{MVA}{MVR}$$

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

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

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

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

- P_0 : étant le poids de l'éprouvette avant immersion
- P_h : le poids de l'éprouvette imbibée après 7 jours d'imbibition.

CONCLUSION

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

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

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

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

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

CHAPITRE V



**RESULTATS ET
INTERPRETATIONS**

CHAPITRE V: RESULTATS ET INTERPRETATIONS**V.1. INTRODUCTION**

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus suite aux essais Marshall effectués au sein de l'organisme national de contrôle technique des travaux publics (C.T.T.P KOUBA ALGER).

V.2. ESSAI MARSHALL**V.2.1. Densité apparente et densité absolue :**

Le tableau (19 et 20) présente la variation de la densité apparente et absolue en fonction des différents dosages du bitume selon chaque mélange :

Tableau (19) : Variation de la densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume de (BB ordinaires)

Teneur en bitume (%)	5.58	5.75	5.92
Module de richesse (K)	3.3	3.4	3.5
Densité apparente (g/cm ³)	2.30	2.35	2.35
Densité absolue (g/cm ³)	2.30	2.35	2.35

Tableau (20) : Variation de la densité en fonction de la teneur en bitume (MANSOURIA)

Teneur en bitume (%)	5.68	5.93	6.18
Module de richesse (K)	3.45	3.60	3.75
densité apparente (g/cm ³)	2.32	2.33	2.33
densité absolue (g/cm ³)	2.47	2.46	2.45

Nous remarquons dans ces tableaux que la densité apparente et la densité absolue dans les bétons bitumineux ordinaires ou les bétons bitumineux D`MANSOURIA ...

V.2.2. Pourcentage des vides :

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

Les tableaux suivants présentent les différents pourcentages des vides obtenus:

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

Tableau (21) : Pourcentage des vides (BB ordinaires)

teneur en bitume (%)	5.58	5.75	5.92
V_v (%)	6.12	3.68	3.68

Tableau (22) : Pourcentage des vides (MANSOURIA)

Teneur en bitume (%)	5.68	5.93	6.18
V_v (%)	6.07	5.28	4.90

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

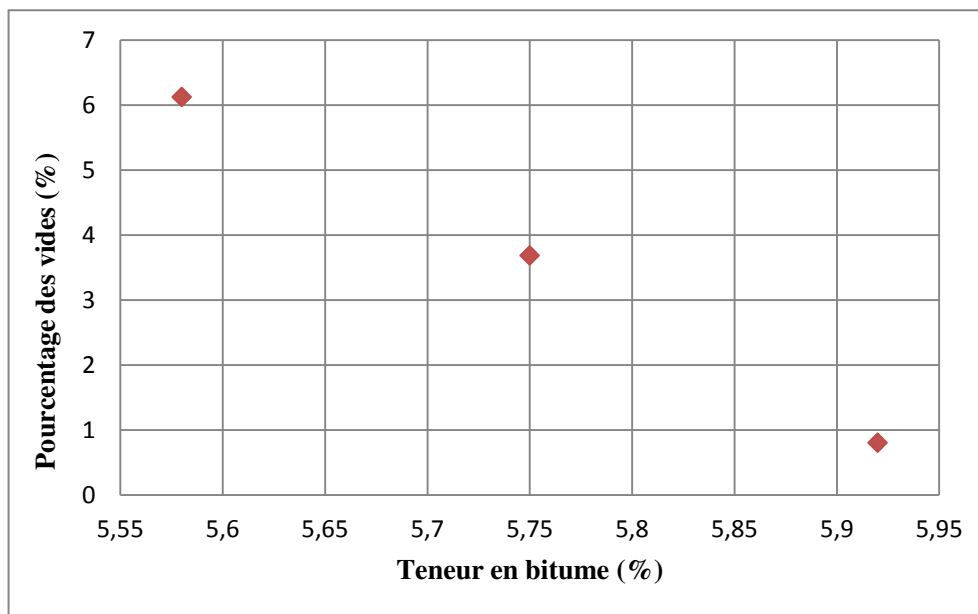


Figure (28): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (BB ordinaire)

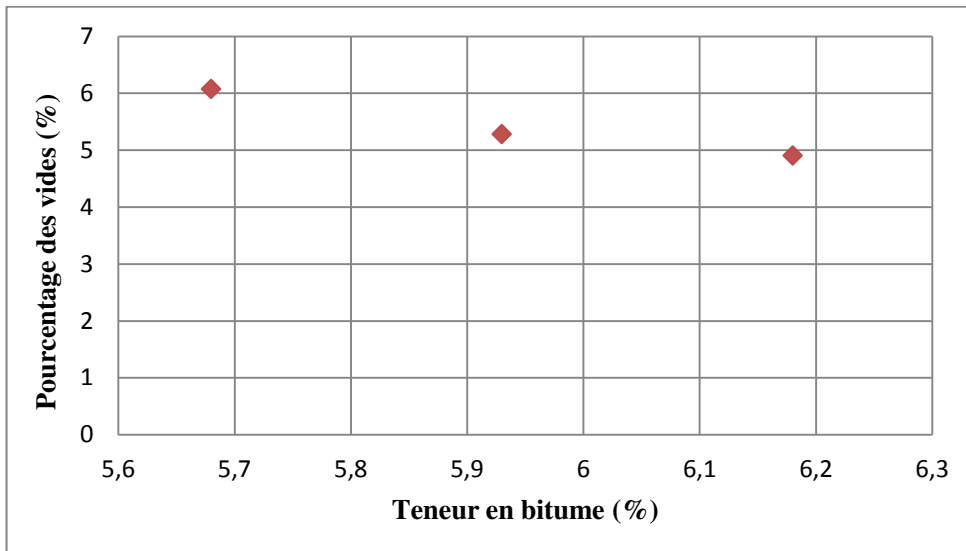


Figure (29): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (MANSOURIA)

Les figures ci-dessous montrent les variations de pourcentage des vides entre les bétons bitumineux ordinaires et les bétons bitumineux D`MANSOURIA...

V.2.3. La compacité :

Les tableaux (23 et 24) suivants présentent la variation de la compacité des éprouvettes en fonction de la variation des dosages en bitume selon chaque mélange :

$$(\text{Compacité } (\%) = \text{Densité apparente} / \text{Densité Vrai} \times 100)$$

Tableau (23) : Variation de la compacité Marshall (BB ordinaire)

Teneur en bitume (%)	5.58	5.75	5.92
Compacité(%)	96	97	97

Tableau (24) : Variation de la compacité Marshall (MANSOURIA)

Teneur en bitume (%)	5.68	5.93	6.18
Compacité(%)	93.92	94.71	95.10

Les figures 30 et 31 ci-dessous présentent la variation de la compacité en fonction de la variation de dosage du bitume selon chaque mélange :

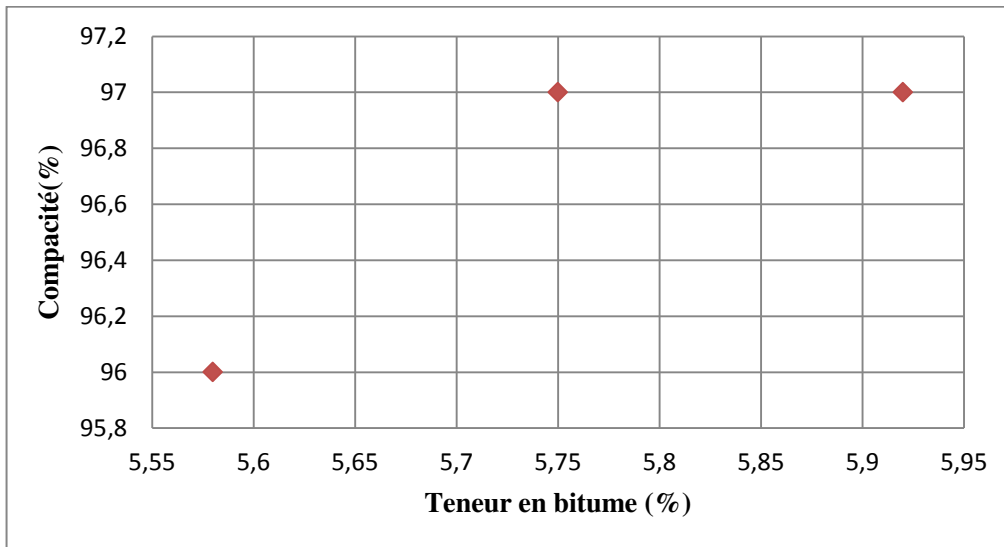


Figure (30): Variation de la compacité en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)

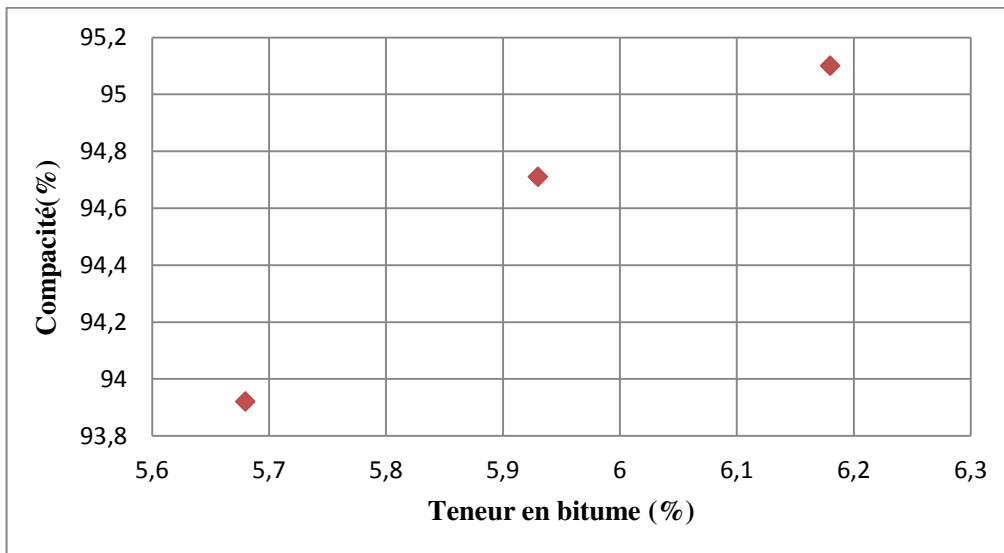


Figure (31): Variation de la compacité en fonction de teneur en bitume (MANSOURIA)

Les figures ci-dessus montrent que la compacité demeure à peu près constante avec la variation de teneur de bitume. Les valeurs trouvées pour le BB D`MANSOURIA des éprouvettes sont acceptables.

V.2.4. Stabilité Marshall (SM)

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

Tableau (25) : Variation de la stabilité Marshall (BB ordinaire)

Teneur en bitume (%)	5.58	5.75	5.92
Stabilité Marshall (KN)	11.92	12.68	13

Tableau (26) : Variation de la stabilité Marshall (MANSOURIA)

Teneur en bitume (%)	5.68	5.93	6.18
Stabilité Marshall (KN)	17.84	15.17	15.32

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

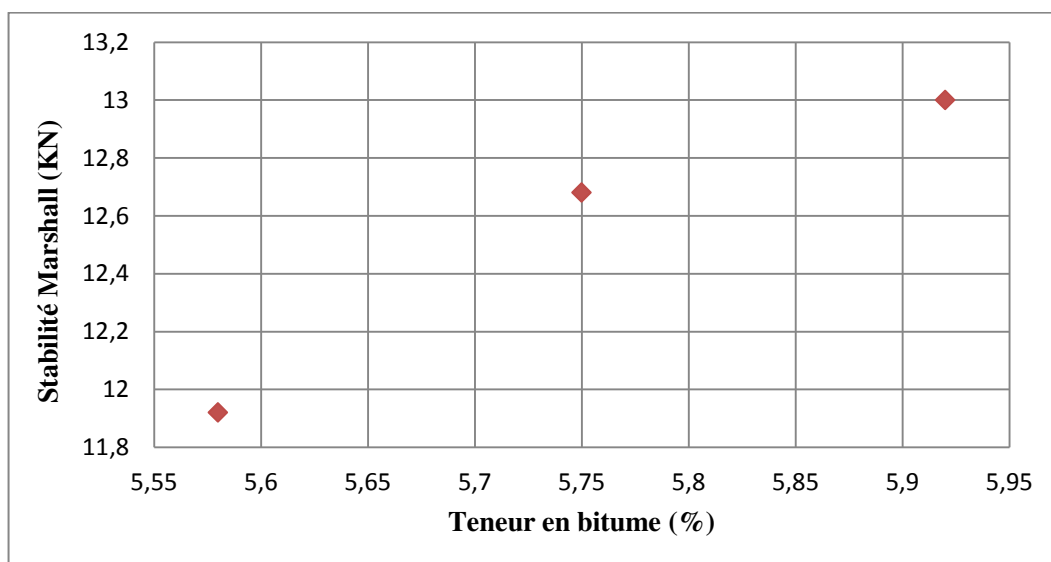


Figure (32): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)

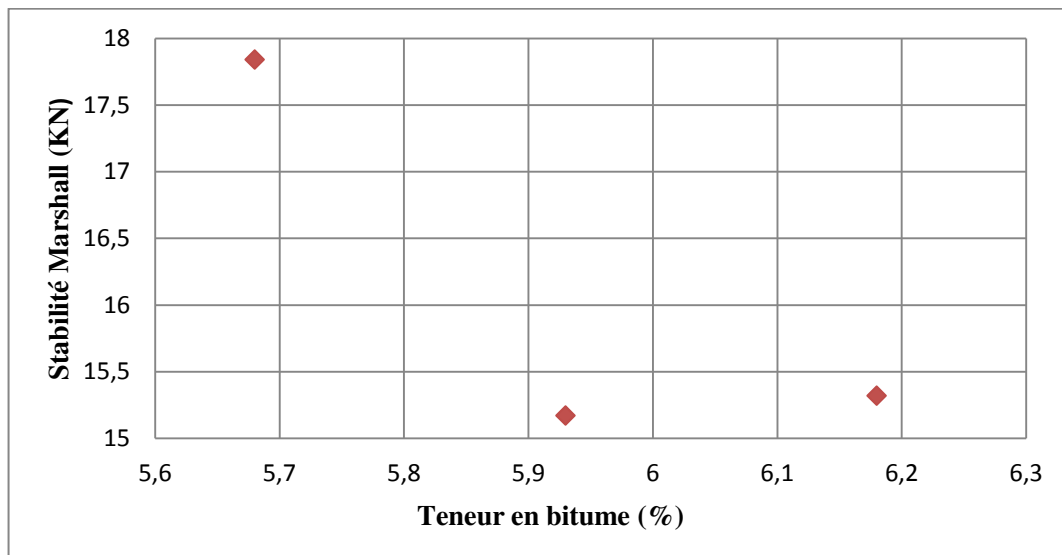


Figure (33): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (MANSOURIA)

On observe sur les figures ci-dessus, que les résultats des stabilités Marshall trouvées pour les BB D` MANSOURIA sont conformes en comparaison avec les BB ordinaires selon les normes française qui préconisent des stabilités supérieures à 10.5 KN (Pour un enrobé semi grenue 0/14).

V.2.5. Fluage Marshall (FM)

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

Tableau (27) : Variation du fluage Marshall (BB ordinaire)

Teneur en bitume (%)	5.58	5.75	5.92
Fluage Marshall (mm)	3.3	3.6	3.4

Tableau (28) : Variation du fluage Marshall (MANSOURIA)

Teneur en bitume (%)	5.68	5.93	6.18
Fluage Marshall (mm)	3.58	3.69	3.96

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

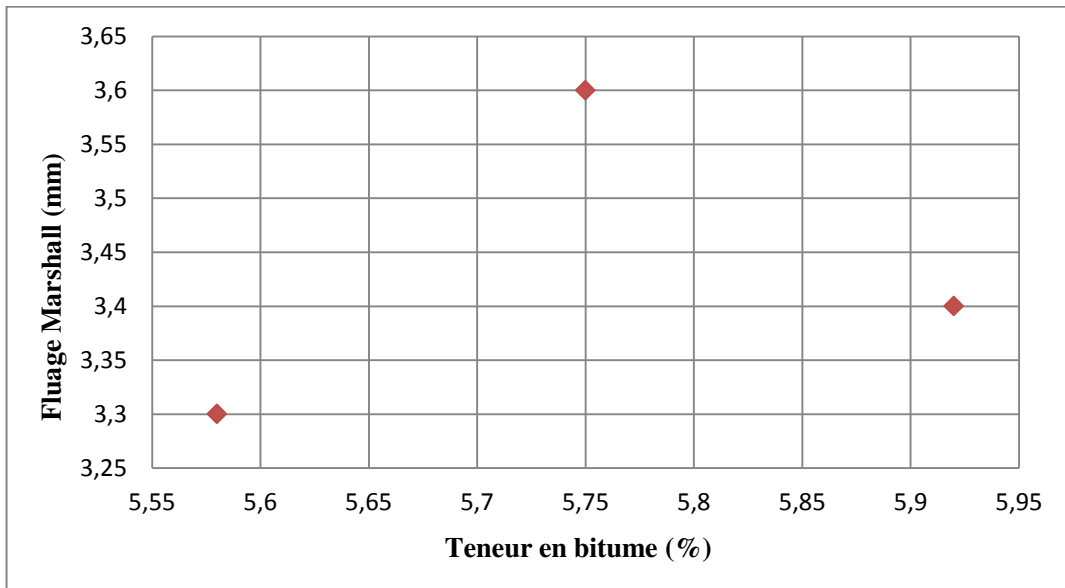


Figure (34): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)

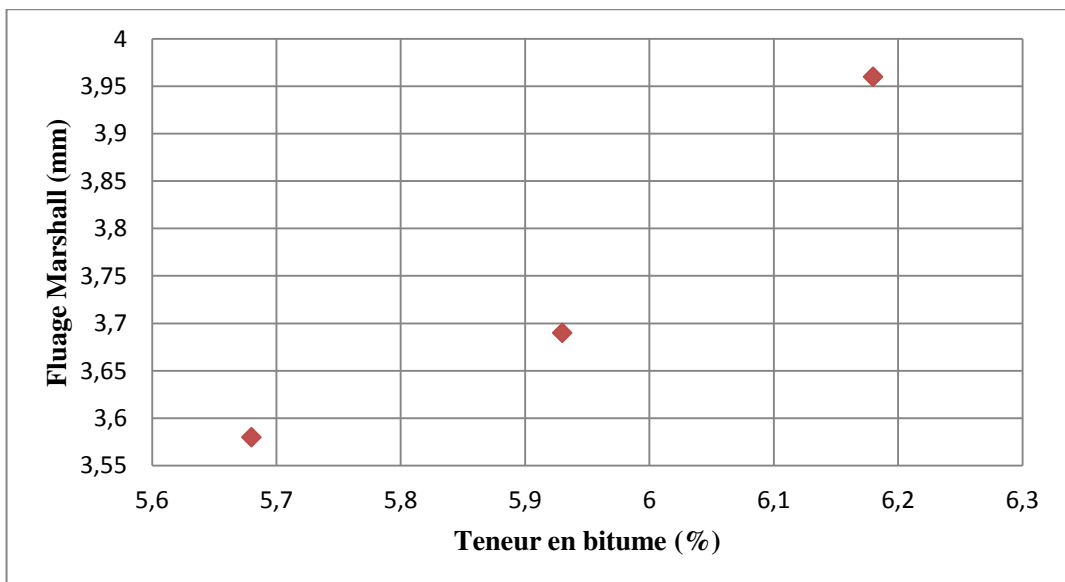


Figure (35): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (MANSOURIA)

On remarque dans les figures ci-dessus, que les résultats du fluage des BB D'MANSOURIA sont conformes en comparaison avec les BB ordinaires selon les normes française qui ≤ 4 mm.

- **Quotient Marshall (QM) :**

Le rapport entre deux grandeurs (SM/FM) est appelé Quotient Marshall (QM) et donne une indication directe sur la performance du mélange :

$$QM = \frac{SM}{FM}$$

En effet, le QM est un indicateur pour la résistance aux déformations permanentes

(fluage), contraintes de cisaillement et aussi pour l'orniérage des enrobés bitumineux. Les plus grandes valeurs du quotient indiquent que les mélanges sont plus résistants aux déformations permanentes.

Tableau (29) : Variation de la Quotient Marshall (MANSOURIA)

	A	B	C
Teneur en bitume (%)	5.68	5.93	6.18
Stabilité Marshall (KN)	17.84	15.17	15.32
Fluage Marshall (mm)	3.58	3.69	3.96
Quotient Marshall	4.98	4.11	3.87

Comment :

la formule « A » présente des bonne performances en terme de stabilité, fluage et quotient Marshall .

CONCLUSIONS

D'après les résultats des essais effectués, nous pouvons tirer les conclusions et donner les recommandations suivantes:

A/ Conclusions

- Les granulats de la présente étude de formulation ont montré une qualité acceptable du point de vue caractéristiques intrinsèques et de fabrication pour une utilisation dans la confection d'un Béton Bitumineux BB 0/14.
- Les essais de performances mécaniques ont révélé que les meilleures performances ont été obtenues avec la formule «A» c'est-à-dire la teneur en bitume de 5,68% pour le Béton Bitumineux BB 0/14.

La Formule qui peut être retenue pour les travaux est récapitulée dans le tableau.

Tableau (30) : récapitulatif des formules retenues

Formule granulaire et teneur en liant retenues pour la Béton bitumineux BB 0/14	
0/3 (%)	45
3/8 (%)	35
8/15 (%)	20
Bitume NAFTAL 40/50 (%)	5.68

- La présente étude a également montré que le pourcentage de granulats non revêtus (20%) n'a pas d'effet sur le comportement du béton bitumineux en présence d'eau.

En effet, le rapport émersion compression enregistré s/SM est de 0.81, ce qui est supérieur au seuil de spécification 0.75.

B/Recommandations

Pour une bonne qualité du mélange hydrocarboné, il est recommandé de :

- Accorder une attention particulière quant à la régularité des matériaux du point de vue qualité de fabrication et caractéristiques intrinsèques.
- Veillez à la conformité du bitume.
- Respecter la disposition granulaire du squelette minéral et les teneurs en bitume.
- Respecter les températures de chauffage du bitume et de fabrication de l'enrobé bitumineux.
- Veillez à la conformité du matériel de mise en œuvre.
- Réaliser une planche d'essai avant d'entamer les travaux afin de fixer les modalités de mise en œuvre et respecter ces modalités pendant toute la durée des travaux.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, ce travail vient de contribuer à l'étude des caractéristiques mécaniques d'un mélange constitué de béton bitumineux à base de matériaux locaux pour être appliqué aux couches de roulement.

Cette étude a mis en évidence la possibilité de valorisation le gravier local qui représente 40% des matériaux locaux du Sud Algérien.

C'est pour résoudre des problèmes incluant la rapidité d'exécution des routes et pour raison d'économique, parce que le coût du transport des agrégats nécessaires à la réalisation des projets routiers intervient de manière très significative dans le prix de revient final des ouvrages.

Selon les essais réalisés sur le gravier nous avons remarqué une différence dans les caractéristiques des graviers des carrières de MANSSOURIA et de KOUSSAN, surtout au niveau de la résistance.

Les essais micro Deval, Equivalent de Sable et Los Angeles ont démontré que le graver de KOUSSAN n'est pas convenable pour les routes à grand trafic de poids lourd.

Les essais ont par contre démontré que le graver de MANSSORIA est bon pour la réalisation des routes.

Dans le cadre du programme expérimental, les essais normalisés sont effectués dans des conditions bien définies de températures et de sollicitations. Cette recherche montre la variabilité des résultats obtenus qui nous ont permis de conclure:

- Les granulats de la présente étude de formulation ont montré une qualité acceptable du point de vue caractéristiques intrinsèques et de fabrication pour une utilisation dans la confection d'un Béton Bitumineux BB 0/14.
- Les essais de performances mécaniques ont révélé que les meilleures performances ont été obtenus avec la formule «A» c'est-à-dire la teneur en bitume de 5,68% pour le Béton Bitumineux BB 0/14.

La Formule qui peut être retenue pour les travaux est récapitulée dans le tableau.

Formule granulaire et teneur en lient retenues pour la béton bitumineux BB 0/14	
0/3 %	45
3/8 %	35
8/15 %	20
Bitume NAFTAL 40/50 %	5.68

La présente étude a également montré que le pourcentage de granulats non revêtus (20%) n'a pas d'effet sur le comportement du béton bitumineux en présence d'eau.

En effet, le rapport émergence compression enregistré s/SM et de 0,81 qui est supérieur au seuil de spécification 0,75.

Recommandations

Pour bonne qualité du mélange hydrocarboné, il est recommandé de :

- Accorder une attention particulière quant à la régularité des matériaux du point de vue qualité de fabrication et caractéristiques intrinsèques.
- Veillez à la conformité du bitume.
- Respecter la disposition granulaire du squelette minérale et les teneurs en bitume.
- Respecter les températures de chauffage du bitume et de fabrication de l'enrobé bitumineux.
- Veillez à la conformité du matériel de mise en œuvre.
- Réaliser une planche d'essai avant d'entamer les travaux afin de fixer les modalités de mise en œuvre et respecter ces modalités pendant toute la durée des travaux.

REFERANCE

[1] **KHENGAOUI SAFIA, 2013** : « En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Génie Civil » (valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable – bitume).

[2] **HELIL.H ; KHOUDJA.N, 2017** : « MEMOIRE DE MASTER en Génie Civil » (Etude d'un béton bitumineux à base de sables de dunes).

[3] **bétons bitumineux** :[www.guidebeton.com/beton-bitumineux]

[4] **SADOUN SOUHILA, 2011** : « MEMOIRE DE MAGISTERE En Génie Civil » (ETUDE DU RENFORCEMENT DU BETON BITUMINEUX RECYCLE PAR DES GRANULATS PLASTIQUES).

[5] [www.texum.swiss/fr/wikitex/lexique]

[6] **Les structures routières** : « JLB Lycée Adolphe CHERIOUX » (lycee-cherioux.fr)

[7] **M.MERBOUH, (2010)**:«Contribution a la modélisation du comportement rhéologique des enrobés bitumineux, Influence des conditions extrêmes de température et de trafic en fatigue», (Thèse Doct. Université BORDEAU 1, sciences technologies).

[8] **F.S. ROSTLER, R.M. WHITE**: «Influence of chemical composition of asphalts on; performance, particularly durability», **STP 277- EB/Sep. 1960**, Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Dec 29 05:18:18 EST 2011, www.astm.org.

[9] **CTTP** : LES CARACTERISATION D'UN ENROBE A BASE DE SABLE DE DUNE PAR LES ESSAIS DES 4 NIVEAUX DE FORMULATION.

[10] **ZERHOUNI ZAKARIA, 2017** : « Projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en GENIE CIVIL; Spécialité : TRAVAUX PUBLICS » (revêtement en béton bitumineux d'une route nationale).

[11] « LCPC, 1994 » (LCPC. Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Guide Technique, LCPC-SETRA, 1994).

[12] the us experience. 8th International Symposium on Concrete Road. 1998, pp. 203–217.

[13] **A.BOUMADIANE** : [**Ingénieur Expert routier**] « Les bétons bitumineux, Formulation; Exécution; Contrôle de qualité » (Le Laboratoire d'Expertise d'Essais et d'Etudes L3E).

[14] [www.google.com/enrobés bitumineux/PDF](http://www.google.com/enrobés_bitumineux/PDF); « les enrobés bitumineux», les éditions le griffon d'argile, mise à jour 2002.PP117.

[15] **ADAMA DIONE** : Université Cheikh Anta Diop de Dakar - Master 2011.
www.memoireonline.com

[16] WikiTP 2.1 est développé avec le soutien de la FRTTP Normandie et du Fond Social Européen. www.wikitp.fr/compacteurs

[17] CONCEPTION GEOMETRIQUE ET STRUCTURELLE DES ROUTES Côte d'Ivoire.
www.slideplayer.fr/slide

[18] Global Motor Graders Sales Market 2017 - Caterpillar, VOLVO, Komatsu, John Deere, CASE. www.openpr.com

[19] VISITE DE LA 2X2 VOIES BALBIGNY/NEULISE. Mardi 27 juin 2017. www.blog-balbigny.blogspot.com

[20] Hauptstrasse 591 CH-4625 Oberbuchsitzen Solothurn Schweiz. www.impbautest.ch

[21] **ANOUAR-ABDELAZIZ** : ZEMMIRI ENTPE de Lyon - Certificat d'études supérieures 2008. www.memoireonline.com

[22] www.hoskin.qc.ca.com

[23] fr.wikipedia.org