République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draïa Adrar
Faculté Des Sciences et de Technologies
Département Des Sciences de Technologie

Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

Master académique

Matériaux en génie civil

Présenté Par :

Baba Mohammed Elamin

THEME

Etude de formulation d'un béton bitumineux semi-grenu BBSG 0/14 pour couche de roulement : Cas de granulats

Jury d'évaluation composé de:

Dr. AKACEM Mustapha	Univ. Adrar	**Encadreur**
Mr.ABDELDJALIL M'hammed	Univ. Adrar	**Co-Encadreur**
Dr.BENNACER Lyacine	Univ. Adrar	**Examinateur**
Mr.ABBOU Mohammed	Univ. Adrar	**Examinateur**

Année Universitaire 2020-2021

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne populaire et démocratique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR

BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N°.....B.C/S.R.B//U.A/2021

جامعة احمد دراية - ادرار

المكتبـــة المركـــزية

مصلحة البحث البيليوغرافي

الرقم.....م .م/م.ب.ب /ج.أ/2021

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): قاسم مصطفى

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـــ : Etude de formulation d'un béton bitumineux semi-grenu BBSG 0/14 pour couche de roulement: Cas de granulats d'Adrar

من إنجاز الطالب(ة): بابا محمد الأمين

و الطالب(ة):

كلية : العلوم والتكنولوجيا

القسم : علوم التكنولوجيا

التخصص: هندسة مدنية : مواد في الهندسة المدنية

تاريخ تقييم / مناقشة: 2021/06/17

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.

وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والاليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

الأستاذ/ قاسم مصطفى

ادرار في: 2021/07/06

مساعد رئيس القسم:

د. عزاوي إلياس

رئيس قسم علوم التكنولوجيا بكلية العلوم والتكنولوجيا

ملاحظة :لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail:

À mes chers parents.

À mes frères et sœurs et à tous les amis

À tous mes Enseignants

À tous la promo 2021.

Mohamed Amin

REMERCEMENT

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Dr. AKACEM Mustapha, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adresse à Mr. Abdeldjalil M'hammed pour son aide et son soutien moral et ses encouragements.

Je tient à remercier, Mme. Soulem Hadjer le directeur de qualité de LTPS d'Adrar pour la qualité des renseignements qu'il m'a offerts.

Mes remerciements s'adressent également à tous mes professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Enfin je tient à exprimer vivement mes remerciements avec une profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, car un projet ne peut pas être le fruit d'une seule personne..

ملخص :

وفقًا لما يتطلبه تطور مجتمعنا ، فإن الطريق أيضًا يمهد الطريق للتنمية المستدامة. يتطلب هذا الأخير إنشاء أرصفة طويلة العمر، ولتحقيق هذه الغاية تم تطوير طرق تشكيل خلائط البيتومين على مدار السنين بسبب المشاكل التي واجهتها الطرق من ضغوطات لحركة السير وظروف مناخية متغيرة خصوصا في بيئة صحراوية.

مما جعلنا نتسائل عن كيفية الحصول على خليط البيتومين. وبسبب كثرة انواع هذا الاخير فقد اقتصرنا في هذه الدراسة على نوع واحد وهو خرسانة إسفلتية نصف حبيبية 14/0 ، وهذا اعتمادًا على مواد محلية.

في هذه الدراسة قمنا بالإجابة على التساؤل المطروح، إنطلاقا من دراسة خصائص الحصى للحصول على أفضل النتائج من تجارب مارشال ودورياز.

في الأخيرأظهرت مجاميع دراسة الصياغة الحالية جودة مقبولة من وجهة نظر الخصائص الجوهرية والتصنيع للاستخدام في تحضير الخرسانة البيتومينية BBSG 0/14.

Abstract:

As required by the development of our society, the road also paves the way for sustainable development. The latter requires the construction of long-life sidewalks, and to this end, methods of forming bitumen mixtures have been developed over the years due to the problems faced by the roads from traffic pressures and changing climatic conditions, especially in a desert environment.

Which made us wonder how to get the bitumen mixture. Because of the large number of types of the latter, we have limited in this study to one type, which is 0/14 semi-granular asphalt concrete, depending on local materials.

In this study, we answered the question posed, based on studying the properties of gravel to obtain the best results from the experiments of Marshall and Dorias.

Finally, the totals of the present formulation study showed an acceptable quality from the point of view of the intrinsic properties and workmanship for use in the preparation of BBSG 0/14 bituminous concrete.

Résumé :

Comme l'impose l'évolution de notre société, la route se met, elle aussi, à l'heure du développement durable. Ce dernier nécessite de construire des chaussées à longue durée de vie.et pour ça, des méthodes de formation des mélanges bitumineux ont été développées au fil des ans en raison des problèmes rencontrés par les routes en raison des pressions de la circulation et des conditions climatiques changeantes, en particulier dans un environnement désertique.

Ce qui nous a fait nous demander comment obtenir un enrobé bitumineux, en raison de la diversité des enrobés bitumineux, nous avons choisi un type pour cette étude, le béton bitumineux semi-grenu 0/14, en utilisé des matériaux locaux.

Dans cette étude, nous avons répondu à la question posée, et d'étudier les caractéristiques des gravions pour obtenir les meilleurs résultats par des essais Marshall et Duriez.

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.

TABLE MATIERE

REMERCIEMENTS	I
RESUME	II
TABLE DES MATIERES	III
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES PHOTOS	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES SYMPOLE	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA STRUCTURE DES CHAUSSEES ROUTIERES	
I.1.LA STRUCTURE DES CHAUSSEES ROUTIERES	3
I.1.1. INTRODUCTION:	3
I.1.2. GENERALITES SUR LES ROUTES:	3
I.1.3. LA STRUCTURE D'UNE ROUTES:	4
I.1.4. DIFFERENT STRUCTURE DES CHAUSSEES: [2]	6
I.2. MISE EN CŒUVRE:	7
I.2.1. LE TRAFIC:	7
I.2.2. LE CLIMAT:	7
I.2.3. TRAVAUX PREPARATOIRES:	8
I.2.4. EPANDAGE DES ENROBES BITUMINELIX A CHAUD	16
I.2.5. LES ACTIONS A MENER AU TITRE DES PARAMETRES	19
I.2.6. PRE-COMPACTAGE DES ENROBES BITUMINEUX	21
I.2.7. COMPACTAGE DES ENROBES BITUMINEUX A CHAUD:	22
I.2.8. MATERIEL DE COMPACTAGE:	22
I.3. CONCLUSION	26
CHAPITRE II : Les enrobes bitumineux	
II.1. INTRODUCTION	27
II.2. COMPOSITION DES ENROBES BITUMINEUX:	27
II.2.1. Liants hydrocarbonés:	27
II.2.2. Granulats :	30
II.2.3. Rôles des granulats dans l'enrobe :	31
II.2.4. Classification des granulats:	31
II.3. CLASSIFICATION DES ENROBES BITUMINEUX:	32
II.3.1. Béton bitumineux (BB):	32
II.3.2. Grave-Bitume (GB):	33
II.3.3. Sable bitume (SB):	33
II.3.4. Bétons bitumineux à module élevé (BBME):	33
II.3.5. Enrobe à module élevé (EME):	34
II.4. ETUDE DE FORMULATION:	34
II.4.1. Caractéristiques des matériaux:	35
II.4.2. Détermination du mélange minéral :	35
II.4.3. Teneur en liant optimale bitumineux:	37
II.4.4. Essai sur gâchet au laboratoire :	38
II.5. ESSAIS SUR LES ENROBES BITUMINEUX:	39
II.5.1. Essai duriez (NA 5226: 2006 | NF P 98-252-1:2002):	39
II.5.2. Essai Marshall (NA 5227 (2007) | EN 12697-34 (2004)):	42
II.5.3. Essai la presse à cisaillement giratoire (PCG):	43

II.5.4. Essai d'orniérage:	45
II.5.5. Essai de fatigue :	47
II.6. CONCLUSION	48
ETUDE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE III : Formulation du BBSG 0/14	
III.1. INTRODUCTION	49
III.2. CARACTERISTIQUES DES AGREGATS UTILISES:	49
III.2.1. Gravier:	49
III.2.2. Sable:	58
III.3. LIANT HYDROCARBONE	61
III.3.1. Les essais sur liant hydrocarboné (Bitume):	61
III.4. ETUDE DE FORMULATION:	68
III.4.1. Résultat d'essai Duriez:	71
III.4.2. Résultat d'essai Marshall	71
III.5. CONCLUSION	71
CONCLUSION GENERALE	72
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	73

List du Figure

Figure I.1 : Coupe transversale schématique de la chaussée [15]

Figure I.2: Types de chaussées [17]

Figure I.3 : Coupe type d'une chausse routière. [10]

Figure I.4 : Finisseur enrobé

Figure I.5 : Niveleuse [18]

Figure I.6: Actions de compacteurs [10]

Figure I.7: compacteur pneumatique [16]

Figure I.8: compacteur à cylindre lisse [16]

Figure I.9 : Camion d'enrobé bitumineux [19]

Figure I.10 : Dame de compactage pour enrobé

Figure I.11 : billonneuse

Figure I.12 : plaque vibrantes

Figure I.13 : petits rouleaux de largeur adaptée

Figure II.1: Enrobé bitumineux.

Figure II.2: Types de Liants hydrocarbonés

Figure II.3 Classification des enrobes bitumineux. [HACHANI. M, DAAS. D ; 2013]

Figure II.4 Un exemple d'un courbe de mélange inscrite le fuseau de référence.

Figure II.5 : Epreuve de formulation (Essai approche empirique et fondamental). [J.L. DELORME et al. ; 2007]

Figure II.6 : Mode opératoire de l'essai Duriez

Figure II.7 : Dame Marshall

Figure II.8: Principe de Cisaillement Giratoire. [CST COLAS ; 2006]

Figure II.9: Principe de l'essai d'orniérage. [CST COLAS ; 2006].

Figure II.10: Courbe du critère classique de fatigue et détermination de la durée de vie.

Figure III.1: : Courbes granulométriques des classes 3/8 – 8/15

Figure III.2 : Dimensions d'un granulat

Figure III.3: Courbes granulométriques des classes 0/3.

Figure III.4 : Principe de pénétration

Figure III.5: Appareil de pénétrabilité

Figure III.6 : Principe de point de ramollissement

Figure III.7 : Un mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite.

Figure III.8 : Composition granulaire du béton bitumineux 0/14

Figure III.9 : La courbe granulométrique du béton bitumineux 0/14

List du Photo

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

Photo II.2 : Presse de Cisaillement à Giratoire.

Photo II.3 : Machine de l'essai d'orniérage.

PhotoIII.1 : Analyse granulométrique

Photo III.2 : Masse volumique absolue

Photo III.3 : Masse volumique apparent

Photo III.4 : La machine « Los Angeles »

Photo : III.5 : Les boulets

Photo III.6 : La machine micro-Deval

Photo : III.7 : Billes inoxydables

Photo III.8 : équivalent de sable

Photo III.9 : Appareil de pénétrabilité

Photo III.10 : Appareillage billes et anneaux

Photo III.11 : Le pycnomètre

List du Tableau

Tableau I.1: Liants utilisés en couche d'imprégnation et dosages préconisés

Tableau I.2: Dosage pour couche de protection

Tableau I.3: Dosage pour couche d'accrochage

Tableau I.4 : Effets des régalages du finisseur.

Tableau I.5: La température d'épandage

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

Tableau III.1 : Analyses granulométriques des granulats étudiés (8/15).

Tableau III.2 : Analyses granulométriques des granulats étudiés (3/8).

Tableau III.3 : Résultat de La propreté superficielle

Tableau III.4 : Résultat de coefficient d'aplatissement

Tableau III.5 : Résultat de la masse volumique (absolue, apparent)

Tableau III.6 : Résultats de l'analyse chimique

Tableau III.7 : Résultat de l'essai (Los Angeles et Micro Deval)

Tableau III.8 : Analyses granulométriques des granulats étudiés (0/3).

Tableau III.9 : Résultat de la masse volumique (absolue, apparent)

Tableau III.10: Résultats d'équivalent de sable du sable concassé 0/3

Tableau III.11 : Nature et qualité du sable en fonction de l'ES.

Tableau. III.12 : Caractérisations du liant.

Tableau III.13 : Teneurs en bitume

Tableau III.14 : Résultats de l'essai Duriez.

Tableau III.15 : Résultats de l'essai Marshall.

Liste Des Symboles

BB : Béton bitumineux

GB : Grave-Bitume

CTTP: « Contrôle Technique des Travaux Publics. », Algérie.

PCG : Essai la presse à cisaillement giratoire

ES : Equivalent de sable (%).

TL : Teneur en bitume.

K: module de richesse

α : coefficient correcteur

MVRg : la masse volumique réel des granulats

Db : Densité du bitume

$\mathbf{pe_1}$ $\mathbf{pe_2}$ $\mathbf{pe_3}$: les masses volumiques des agrégats.
Pb : Pourcentage en poids du bitume.
$\mathbf{Pa_1}$ $\mathbf{Pa_2}$ $\mathbf{Pa_3}$ **:** pourcentages des agrégats.
$\sum$ **:** Surface spécifique du granulat**.**
$MVA.Géo$: la masse volumique apparente par mesure géométrique.
R : Résistance à la compression sans immersion à 18°C(Kg/cm2).
r : Résistance à la compression avec immersion à 18°C (Kg/cm2).
Hmin : hauteur minimale pour 0 % de vide ;
H : hauteur apparente pour N girations ;
F : force axiale ;
FC : force de cisaillement ;
α : angle d'inclinaison.
E : module d'élasticité
γ_s : La masse volumique absolue (g/cm3)
γ_A = La masse volumique apparente (g/cm3)
d: est la densité du liant bitumineux à 25 °C.
ρ_T : est la masse volumique du liquide d'essai.

Introduction Générale

En général, le réseau routier de tout pays est l'héritage le plus important de son développement. En effet, cette route relie l'intégration de l'économie avec la production, l'importation, l'exportation et la consommation à l'intérieur et à l'extérieur du pays. En outre, il garantit que le lien entre les personnes et la société est d'une importance inestimable car il permet l'établissement d'échanges culturels, sociaux, politiques et administratifs, qui se sont également avérés être l'un des éléments qui favorisent tout développement.

Malgré toute l'importance qu'il revêt, on remarque que le réseau routier de nos pays en développement est toujours au stade embryonnaire. Surtout en Algérie, qui est un pays qui dépend fortement des exportations de produits noirs (pétrole). La route est un facteur essentiel pour le transport entre les points d'extraction de pétrole situés dans des endroits reculés de nature désertique hostile. Ce dernier nécessite de construire des chaussées à longue durée de vie, qui exigent des matériaux performants comme de liant bitumineux qui occupent une place importante.

Les propriétés requises pour le matériau bitumineux dépendent également de la couche dans laquelle il est utilisé. Ainsi pour la couche roulement, sur laquelle elle exerce directement les agressions communes du trafic et du climat. Il doit avoir des caractéristiques d'utilisation spécifiques, à savoir: une forte adhérence, une bonne traction, un bon niveau d'unité et un bruit de rotation réduit du véhicule. Dans ce cas, les études de composition viennent pour trouver la meilleure recette.

Dans ce travail, nous menons une étude de formulation pour le béton bitumineux semi-granulaire 0/14, qui convient aux couches de surface des chaussées à forte densité de trafic (moyenne ou élevée) en raison de bonnes propriétés mécaniques et en s'appuyant sur des matériaux locaux (gravier + le sable).

Pour atteindre ce but, on a scindé le présent travail en une partie bibliographique et un partie pratique.

Une partie bibliographique, qui se divise en deux chapitres sont :

CHAPITRE I, est consacrée pour présenter 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 considéré.

CHAPITRE II, Généralité sur les enrobes bitumineux et étude de formulation, présentant les notions de base de enrobés, composition, origine … etc. et présentation des notions de calcul dans le domaine des enrobés bitumineux. Aussi, cette partie regroupe les différents essais qui ont été utilisées dans ce travail au but de mesure les performances de notre composition.

La partie expérimentale il y a un chapitre est :

CHAPITRE III, Il est divisé en trois point principale, les essais sur (gravier +sable concassé), les essais sur les noir (bitume) et la formulation étude. Aussi les résultats et la discussion.

Et enfin une conclusion générale.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES CHAUSSEES ROUTIERES

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES CHAUSSEES ROUTIERES

I.1. LA STRUCTURE DES CHAUSSEES ROUTIERES

I.1.1. INTRODUCTION :

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.

I.1.2. GENERALITES SUR LES ROUTES :

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. [1]

I.1.3. LA STRUCTURE D'UNE ROUTES:

A. Les couches de surface :

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

- **Les couches de roulement :**

C'est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. On lui demande des qualités d'usage précises à savoir : une forte adhérence, une bonne dérivabilité, un bon niveau d'uni et une réduction du bruit de roulement des véhicules. Selon les besoins, on utilise soit la technique des enrobés épais, soit celle des enrobés minces ou bien celle des enrobés très minces voire ultra minces.

- **Les couches de liaison:**

L'apport structurel de cette couche est secondaire (sauf les chaussées à assise granulaire dont la couche de surface est la seule couche liée), elle est tributaire de la pérennité de la chaussée.

Le choix de la couche de surface doit résulter de la prise en considération de plusieurs objectifs tels que :

- La sécurité et le confort des usagers, en relation avec les caractéristiques de surface;
- Le maintien de l'intégrité de la structure, par la protection des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations des eaux pluviales et des sels de déverglace ;
- L'impact sur l'environnement, avec notamment la recherche d'une réduction des bruits de roulement ;
- Les possibilités de régénération des caractéristiques de surface.

B. Les couches d'assise:

Les couches d'assise sont décrites comme suit et illustrées sur la Figure I.1 : **[2]**

- **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.

- **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.

C. L'accotement :

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

D. 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.

E. La couche de forme :

Elle 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.

F. 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.

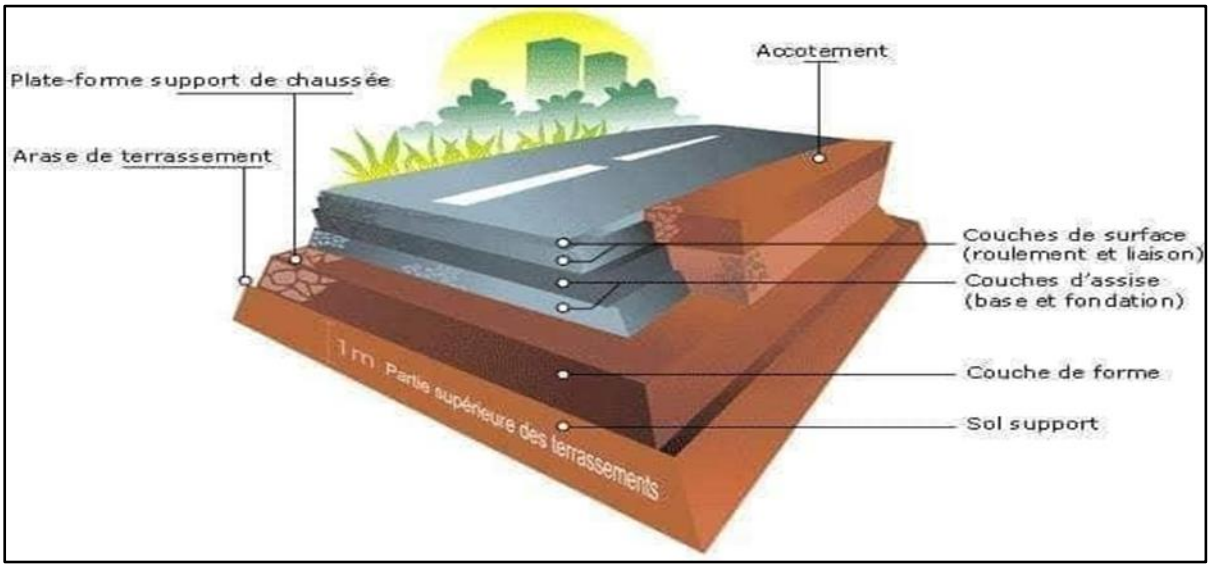


Figure I.1 : Coupe transversale schématique de la chaussée [3]

I.1.4. DIFFERENT CHAUSSEES:

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, figure I.2. **[2]**

- **Chaussées 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.

- **Chaussées bitumineuses épaisses :**

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.

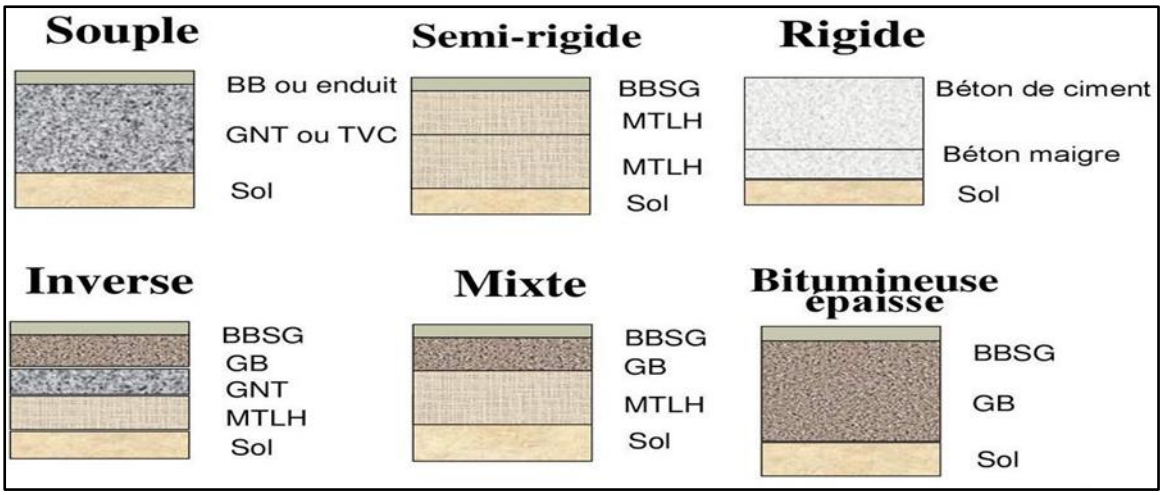


Figure I.2: Types de chaussées [4]

- **Chaussées semi rigides (les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques) :**

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.

- **Les chaussées en béton 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.

- **Chaussées 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.

- **Chaussées 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.2. 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 voix plus chargée, à partir de l'année de mise en service. [5]

Lorsqu'on ne connait 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 :

- **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.

- **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). [5]

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 :

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

I.2.3. TRAVAUX PREPARATOIRES :

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: [5]

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

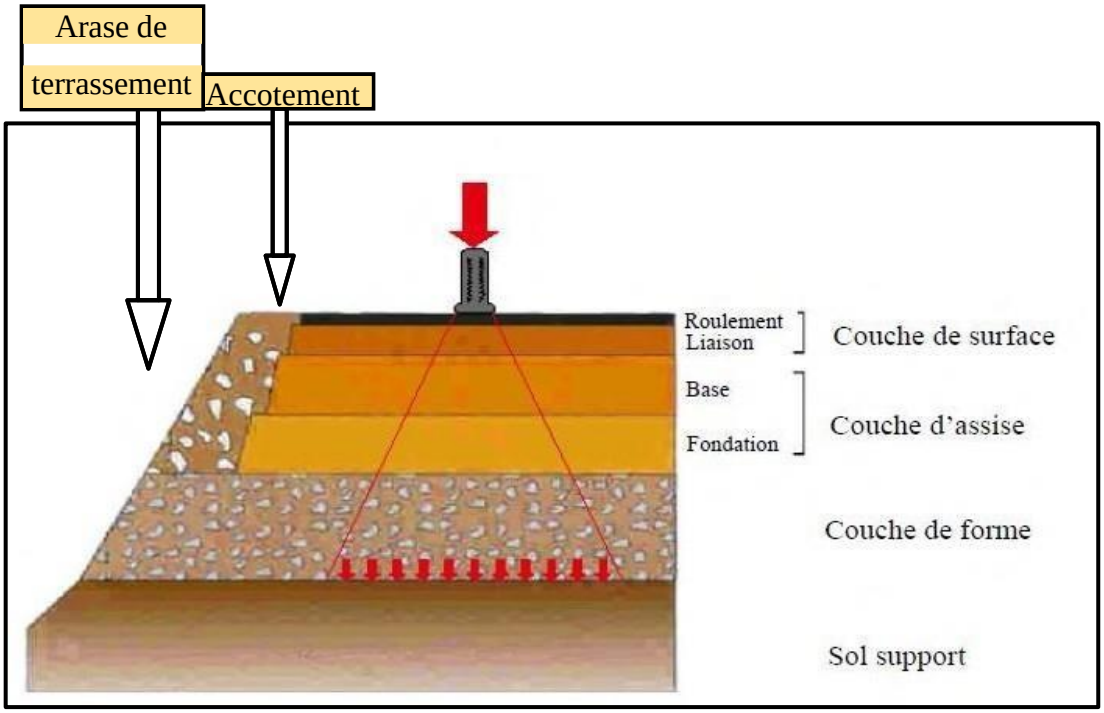


Figure I.3 : Coupe type d'une chausse routière. [5]

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 suit 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 [6], qui concerne les travaux préparatoires de l'assise de chassée. 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.

- **Mesures de protection de la chaussée contre l'eau :**

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 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 impératif, préalablement, de prendre les mesures suivantes : **[5]**

- 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.

N.B : 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.

- **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 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: [5]

- 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.

❖ **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 :

a. Un profil en travers correct ; pour que l'eau puisse s'évacuer normalement de la chaussée.
b. 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 : [5]

- 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 bitumineuse 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). A 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 à10 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.

❖ **Mise en état de propreté de bitume de la surface de l'assise :**

Concernant la mise en était de la surface de l'assise, on recommande ce qui suit : **[5]**

- 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 météorologique 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, et d'accrochage) qui ne peuvent se fixer que sur des surfaces propres.

❖ **Réalisation des couches d'interfaces :**

On distingue trois couches d'interfaces (qui seront développées) : **[5]**

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

Lorsque les couches de chaussée (de roulement, de base st 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 couteux car il faudra faire un forcement de forte épaisseur ou enlever (par fraisage) les couches mal collées pour les remplacer.

- **La couche d'imprégnation des matériaux non traités :**

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

Cela consiste à étaler un adhésive sensible aux cavité de la couche préalablement compacité, réalisant ainsi l'adhésif. Imperméable (hydrophobe) et passe la profondeur à atteindre varie en fonction de la nature de la couche non traitée (1 cm est Bonne moyenne). Recommandations pour les couche imprégnées non matérielles le traitement est le suivant:

- 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 I.1).

Tableau I.1: Liants utilisés en couche d'imprégnation et dosages préconisés **[5]**

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^2
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 sur-stabilisée à 65% de bitume résidée à 2.5 kg/ m^2

- 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/m^2).

- 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.

❖ **La couche de protection (de cure) de l'assise traitée :**

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 :

a. 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/m^2 de bitume résiduel, suivie d'un sablage ou gravillonnage (7 à 8 litres/ m^2 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/ m^2, toujours exprimés en bitume résiduel).

Tableau I.2: Dosage pour couche de protection **[7]**

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

b. 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/m^2 de gros gravillons, 14/20 par exemple, légèrement compactés).
c. 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.
d. 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.

❖ **La couche d'accrochage des matériaux bitumineux :**

Avant l'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/m^2 sur un support neuf et peut aller 350 g/ m^2 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 I.3: Dosage pour couche d'accrochage **[5]**

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 : [5]

- 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. EPANDAGE DES ENROBES BITUMINEUX A 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'usager 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 développés :

- 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.

❖ **Matériel d'épandage :**

Les matériels d'épandage des enrobés bitumineux sont dominés par les finisseurs (Figure I.4), mais la mise en œuvre peut s'effectuer dans certains cas/ou pour d'autres matériaux au moyen d'autre types d'engins tels que les niveleuses (Figure I.5), et les auto-grades. **[5]**

- **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).

Figure I.4 : Finisseur enrobé

- **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.

Figure I.5 : Niveleuse [8]

❖ **Plan 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 ou 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 A MENER AU TITRE DES PARAMETRES INFLUENÇANT L'EPANDAGE :

Les paramètres influençant l'épandage concernent les réglages initiaux du finisseur, la température de l'épandage ainsi que le mode de guidage. [5]

❖ 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 I.4.

Tableau I.4 : Effets des régalages du finisseur. **[5]**

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

❖ Température d'épandage :

La température d'épandage est donnée en fonction de la classe de bitume comme il est décrit dans le tableau I.5.

Tableau I.5: La température d'épandage **[5]**

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

- **Choix du mode de guidage :**

Le type de guidage permet de maitriser 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 en question, comme suit :

a. 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.

b. 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 ».

c. 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. PRE-COMPACTAGE DES ENROBES BITUMINEUX :

Le pré-compactage est réalisé par la vibration verticale du dameur ou de la table encore de la combinaison de ces deux éléments. [5]

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 l'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. COMPACTAGE DES ENROBES BITUMINEUX A 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 : [5]

- 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 sec 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. MATERIEL 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. [5]

- **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 I.6 présente l'action assurée par chaque type de compacteur usuellement utilisé le compactage enrobé bitumineux.

D'autres types de compacteurs tels que le compacteur mixte (pneumatique + cylindre vibrant) existant 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 (figure I.10), billonneuse (figure I.11), plaque vibrantes (figure I.12), ou petits rouleaux de largeur adaptée (figure I.13).

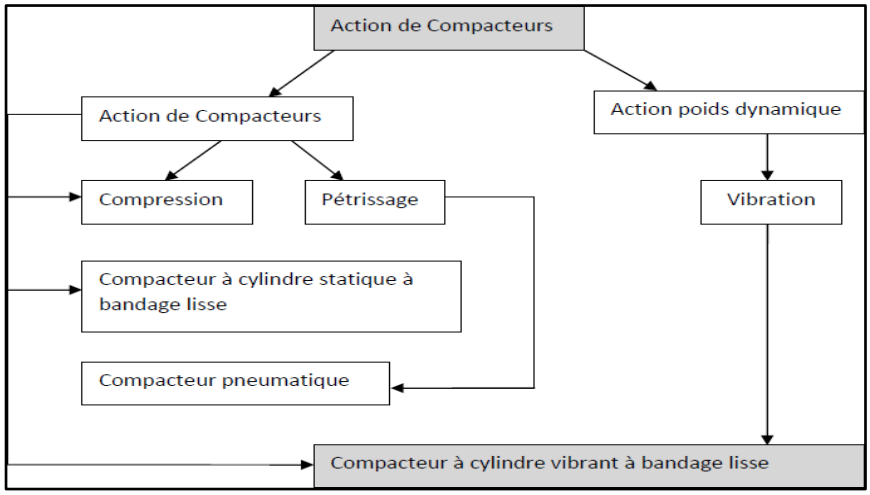


Figure I.6: Actions de compacteurs [10]

Figure I.7: compacteur pneumatique [9]

Figure I.8: compacteur à cylindre lisse [9]

Figure I.9 : Camion d'enrobé bitumineux [10]

Figure I.10 : Dame de compactage pour enrobé

Figure I.11 : billonneuse

Figure I.12 : plaque vibrantes

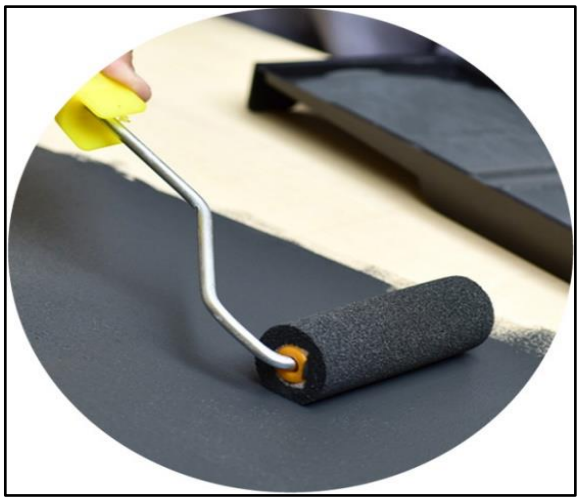


Figure I.13 : petits rouleaux de largeur adaptée

I.3. 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 vu :

- 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 enrobes bitumineux

II.1. INTRODUCTION :

L'enrobé bitumineux est un matériau composite constitué d'un mélange de granulats (graviers, sables, fines) et d'un liant hydrocarboné (bitume, éventuellement des additifs) ; Les granulats assurent la structure rigide de l'enrobé et le bitume procure la cohésion de l'ensemble et il est responsable du caractère visqueux. [11]

Chacun de ces deux constituants est défini par ses caractéristiques rhéologiques et mécaniques. La connaissance de ces caractéristiques permet d'obtenir la bonne tenue du mélange bitumineux. [11]

a) Avant malaxage

b) Après malaxage

Figure II.1: Enrobé bitumineux.

II.2. COMPOSITION DES ENROBES BITUMINEUX :

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

II.2.1. Liants hydrocarbonés :

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

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

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

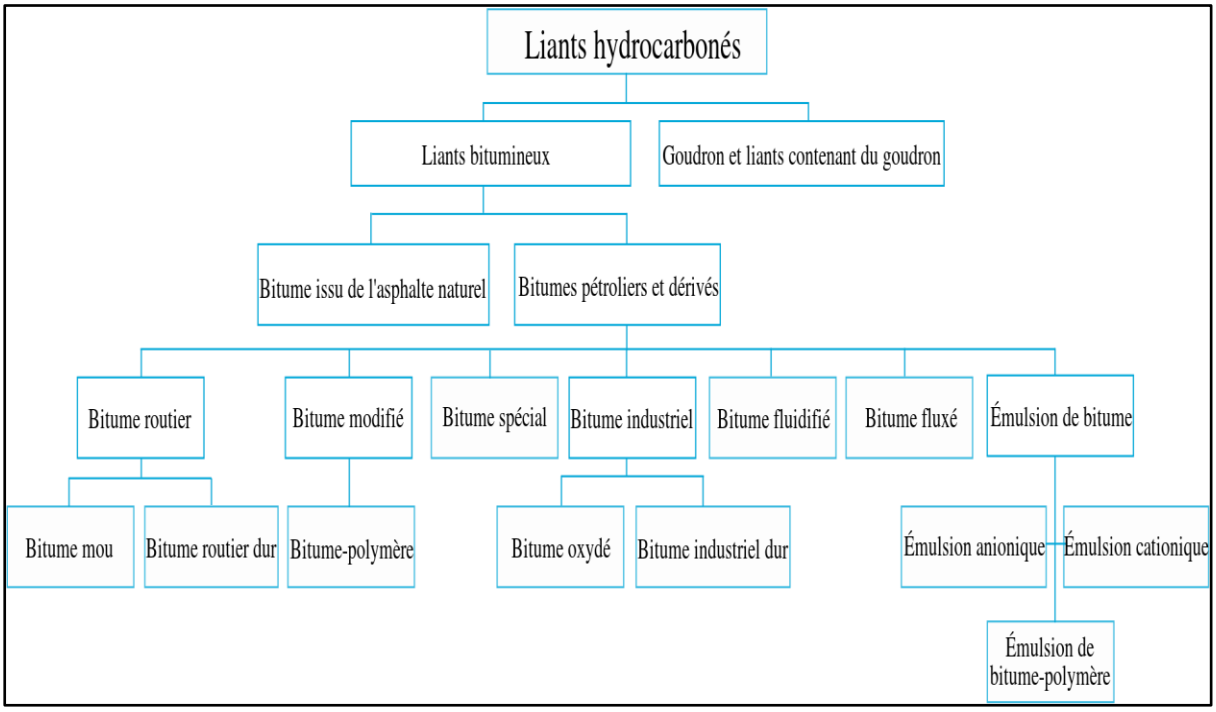


Figure II.2: Types de Liants hydrocarbonés

a) **Les liants naturels :**

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

b) **Les goudrons :**

Qui proviennent de la pyrogénation, à l'abri de l'air, de matières d'origine végétal : houille, tourbe, bois, lignite…etc.

c) **Les bitumes :**

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

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

Les analyses chimiques mettent en évidence les constituants essentiels suivants : [12].

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

Tableau II.1: Caractéristiques des bitumes purs selon la norme européenne EN 12591 [13].

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

- **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. [14]

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

- **Emulsions de bitume :**

L'émulsion est une dispersion très fine du bitume dans l'eau. Il en existe deux catégories : les émulsions anioniques et les émulsions cationiques. (Figure II.2)

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

II.2.2. Granulats :

Les granulats utilisés dans les enrobés peuvent être divisés en deux grandes catégories : les granulats naturels en provenance de carrières (Photo II.1), sablières et gravières et les granulats d'autres origines tels que des granulats recyclés, des sous-produits d'origine industrielle ou des granulats fabriqués pour un usage spécifique. [15]

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

II.2.3. Rôles des granulats dans l'enrobe :

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

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

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

Les granulats utilisés dans la confection des enrobés bitumineux doivent donc répondre à des critères de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. [16]

II.2.4. Classification des granulats :

Les granulats sont classifiés en différentes classes granulaires selon la taille des éléments.

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

On peut distinguer les classes granulaires suivantes :

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

- **Fillers d'apport :**

Le filler est constitué des éléments très fins, de diamètre inférieur à 63 microns. Il provient du dépoussiérage de granulats ou de production industrielle par mouture de roche, ces fillers à une surface spécifique très élevée et il absorbe une part importante du liant. [17]

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

La propreté du filler, en particulier sa faible teneur en argile, est primordiale afin de garantir un bon comportement mécanique. [17]

L'arrangement des différentes classes granulaires forme la courbe granulométrique d'un mélange bitumineux. [17]

II.3. CLASSIFICATION DES ENROBES BITUMINEUX :

Les " Enrobés bitumineux" sont des matériaux résultant d'un mélange des granulats et d'un liant hydrocarboné. Le mélange liant – granulats obtenu est constitué de trois phases : [14]

La phase solide : représentée par le squelette granulaire ;

La phase visqueuse : représentée par l'apport du liant qui assure la cohésion ;

La phase gazeuse : représentée par le pourcentage des vides contenu dans le mélange.

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

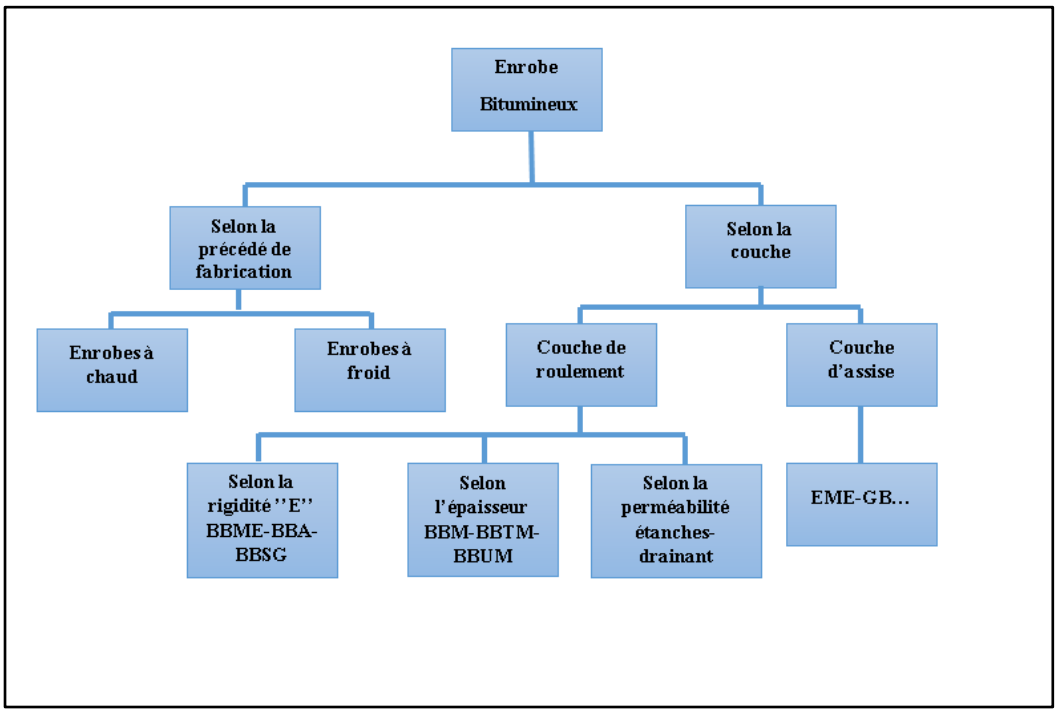


Figure II.3 Classification des enrobes bitumineux. [18]

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

II.3.1. Béton bitumineux (BB) :

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

Les classes granulaires des bétons bitumineux reconnus sont les suivantes : BB 0/8, BB 0/12, BB 0/14. [CDC-ENR05 ;2005]

Leur domaine d'utilisation diriger vers :

Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison des bonnes caractéristiques mécaniques. Il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement.

Selon le type, il convient pour couche de roulement ou couche de liaison de routes, autoroutes et aérodromes. Il est fabriqué, mis en œuvre et compacté à chaud. [CTTP ; 2004]

II.3.2. Grave-Bitume (GB) :

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

Elle est appropriée pour couche de base de routes, autoroutes et aérodromes. Elle est fabriquée, mises en œuvre et compactée à chaud et assure la portance de la chaussée et la répartition des charges du trafic transmis par les couches de surface. Elle sert aussi à établir le profil souhaité de la chaussée respectivement comme couche de reprofilage. [CDC-ENR05 ;2005]

Leur domaine d'utilisation diriger vers :

La technique des graves bitumes est destinée à la réalisation des assises de chaussée (couche de base et couche de fondation).

Réseau RP1 : Classes de trafic TPL3 à TPL7. [CTTP ; 2004]

II.3.3. Sable bitume (SB) :

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

Le bitume utilisé doit être assez dur, de classe 40/50 ou 20/30 afin d'assurer une rigidité et une stabilité convenable. [CTTP ; 2001]

Leur domaine d'utilisation c'est d'emploi en couche de base pour les chaussées du réseau principal de niveau 2, il aussi utilise comme couche anti – ramant des fissures. [CTTP ; 2004]

II.3.4. Bétons bitumineux à module élevé (BBME) :

Le cas de notre étude, les BBME sont obtenus à partir d'un mélange de bitume pur ou modifié, de granulats fabriqués dans une centrale d'enrobage. Ils se caractérisent par un module de rigidité « E » plus élevé que les enrobés classiques et par une bonne tenue à l'orniérage. [CTTP ; 2004]

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

Les BBME permettent une meilleure résistance à l'orniérage. Ils s'appliquent sur des épaisseurs de 5 à 7 cm pour les BBME 0/10 et 6 à 9 cm pour les BBME 0/14. [CTTP ; 2004]

II.3.5. Enrobe à module élevé (EME) :

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

Ils se caractérisent par un module de rigidité élevé atteignant 17000MPa et une plus grande résistance à la fatigue que les enrobés classiques. [19]

On distingue deux classes de performance classe 1 et classe 2. Les granularités utilisées sont 0/10, 0/14 et 0/20. [19]

Chaque type d'EME comprend deux classes granulaires qui différent entre elles notamment par leur teneur en liant et la dureté. On distingue : [19]

EME Classe 1 : correspond à des graves bitumes à module élevé obtenues par l'emploi d'un bitume dur, aux dosages voisins de ceux des graves bitumes (GB).

EME Classe 2 : correspond à un enrobé à module élevé comportant, de plus, un très bon comportement en fat igue, du fait du dosage élevé en bitume dur, généralement parlant de l'EME.

Les types des enrobes mentionnes au-dessus les plus connais et utilisent en Algérie, reste antre types des enrobe tels que drainant, aéronautique…etc.

II.4. ETUDE DE FORMULATION :

La qualité des matériaux utilisés influe grandement sur le comportement mécanique des enrobés. Les principaux éléments ayant la plus grande influence sur la résistance mécanique sont : [11]

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

Tous ces éléments doivent être analysés par le concepteur afin de proposer un mélange

correspondant aux caractéristiques optimales en termes de résistance mécanique et de susceptibilité thermique.

II.4.1. Caractéristiques des matériaux :

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

Pour les premières compositions ce qui le liant bitumineux, doit vérifier par un ensemble des essais, pour un bitume pur, on doit vérifier :

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

Et concernant le deuxième composants, squelette granulaire, en doit vérifier :

- Analyses granulométrie
- Masses Volumiques absolues
- Assai Micro Deval en présence d'eau
- Essai de Los Angeles
- Essai d'Aplatissement

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

II.4.2. Détermination du mélange minéral :

A partir des courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies pour la réalisation de l'étude de formulation, on compose un mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite dans les limites du fuseau défini par les spécifications.

La méthode consiste à : [20]

- Tracer sur le même graphique les courbes granulométriques moyennes des classes granulaires choisies pour la composition du mélange granulaire, le fuseau granulométrique relatif au mélange minéral de l'enrobé étudié et la courbe médiane de ce fuseau.
- Tracer la droite joignant le point correspondant à 5% de passants sur la courbe de la première gravette, au point correspondant à 95 % de passants sur la courbe de la deuxième gravette (ordre décroissant des D_{max}).

- Le point d'intersection de cette droite avec la courbe médiane du fuseau détermine le pourcentage pondéral de la première gravette dans le mélange minéral (Figure II.4).

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

A partir des courbes moyennes des classes granulaires, on calculera la courbe du mélange minéral le pourcentage de passants à un tamis pour la courbe de mélange est la somme des pourcentages de passants au même tamis des courbes des constituants pondérés par les proportions correspondantes. [20]

La courbe granulométrique du mélange minéral calculée devra ensuite être tracée dans un graphique et être comparée au fuseau de spécifications. [20]

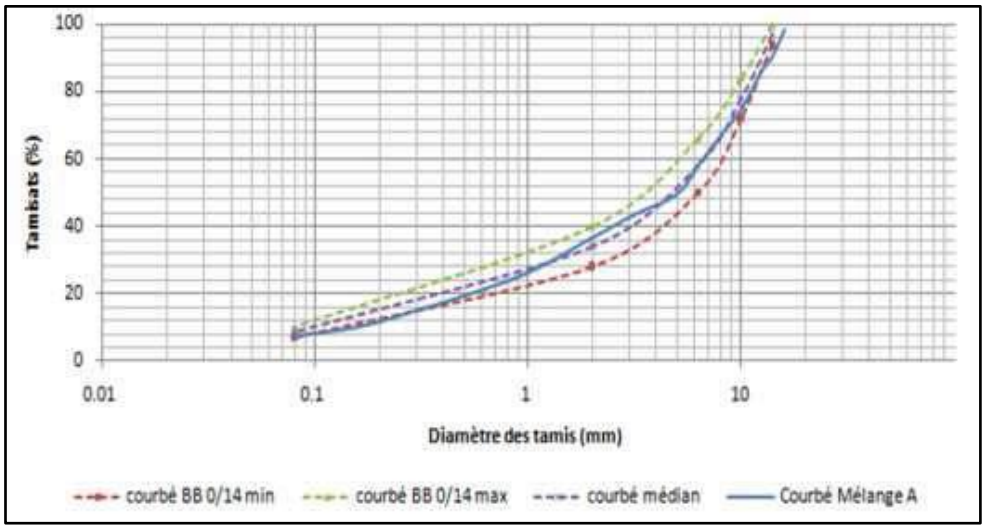


Figure II.4 Un exemple d'un courbe de mélange inscrite le fuseau de référence.

La composition granulométrique du mélange devra être, selon le type d'enrobé, [21], à l'intérieur des fourchettes données dans le Tableau suivant:

Tableau III.12 : Le fuseau du BB 0/14

Tamis (mm)	Béton Bitumineux 0/14		
	min	milieu	max
20	-		
14	90	95	100
6,3	50	57,5	65
2	28	33	38
0,25	10	17,5	25
0,063	5	6,5	8

II.4.3. Teneur en liant optimale bitumineux :

La teneur en liant à retenir est définie à partir d'une étude de laboratoire qui consiste à choisir à partir d'un granulat simple ou composé entrant dans le fuseau recommandé. Elle sera fonction de la surface spécifique des granulats selon la formule suivante :

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

- **K:** module de richesse pouvant prendre les valeurs suivant :
  - 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 réel des granulats **« MVR_g ».**

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

Sachant que:

$$MVR_g = \frac{100}{\frac{P_b}{D_b} + \frac{P_{a1}}{\rho_{e1}} + \frac{P_{a2}}{\rho_{e2}} + \frac{P_{a3}}{\rho_{e3}} \ldots}$$

Où :

- **Db :** Densité du bitume.
- **pe_1 pe_2 pe_3** : les masses volumiques des agrégats.
- **Pb :** Pourcentage en poids du bitume.
- **Pa_1 Pa_2 Pa_3 :** pourcentages des agrégats.

- **∑ :** Surface spécifique du granulat.

$$100.\sum = 0{,}25G + 2{,}3S + 12s + 135f \text{ en } (m^2/kg)$$

Avec les proportions massiques :

- **G :** des éléments supérieurs à 6,3 mm.
- **S :** des éléments compris entre 6,3 mm et 0,315 mm.
- **S :** des éléments compris entre 0,315 mm et 0,08 mm.
- **f:** des éléments inférieurs à 0.08 mm.

II.4.4. Essai sur gâchet au laboratoire :

Des mélanges préparés au laboratoire a différents dosages en liant (autour des dosages calculés), seront soumis aux différents essais au but de déterminer leurs performances mécaniques selon les quatre niveaux d'étude de formulation. [21]

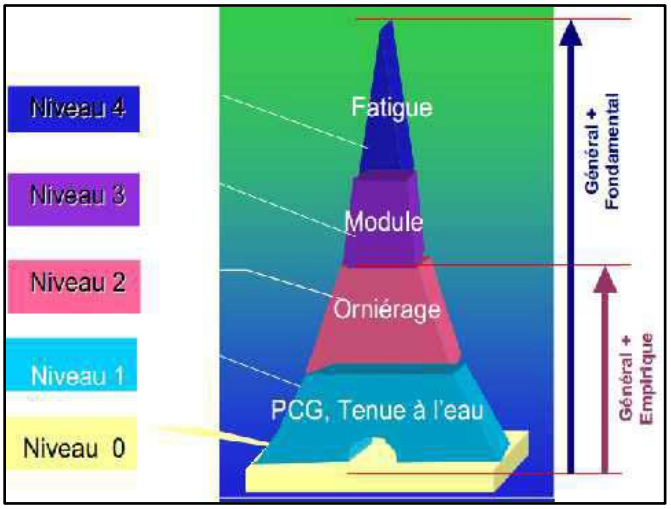


Figure II.5 : Epreuve de formulation (Essai approche empirique et fondamental). [21]

II.5. ESSAIS SUR LES ENROBES BITUMINEUX :

II.5.1. Essai duriez (NA 5226 : 2006 | NF P 98 – 252 – 1 : 2002) :

- **Objet :** L'essai a pour but de déterminer, pour une température et une énergie de compactage donné, la tenue à l'eau (rapport d'immersion d'eau) d'un mélange hydrocarboné à chaud, à partir du rapport des résistances en compression des éprouvettes immergent et non – immergent au l'eau.

- **Préparation et remplissage des moules :**

- Préparation des différents équipements de l'essai (Moules, Pistons … etc.) et le mélange préparé précédemment, ou les agrégats non enrobés avec le liant dans le cas d'un mélange au cours la préparation. Le tous chauffent à la température de référence dans l'étuve pour deux heures au minimum, jusqu'à que liant bien liquéfié pour enrober les agrégats et forme un mélange bitumineux,
- La préparation d'un mélange au niveau laboratoire par malaxage effectue suivant les instructions de présente norme de l'article 7 qui définit la température de malaxage selon le type de liant, ou l'utilisation d'un mélange déjà préparé au niveau le chantier,
- Les moules sont remplis successivement, d'après la pose d'un disque de pierre au fond, le remplissage s'effectue selon la méthode suivant :
  - Pour un mélange hydrocarboné compose à partir un mélange granulaire de D_{max} inférieure à 14 mm, le moule duriez normal est utilisé avec un pesée de 1000±2g,
  - Pour un mélange hydrocarboné compose à partir un mélange granulaire de D_{max} supérieure ou égale à 14 mm, le moule duriez dilater est utilisé avec un pesée de 3500±4 g,

NB : des pistons sont placés sur la partie inferieure des moules, avec l'utilisation des cales pour la création de l'espace de compactage (le point suivant)

- **Compactage des éprouvettes :**

- Les moules sont réchauffés à la température avant poursuivre au compactage, pour récupérer la température perdue au cours remplissage, pour une durée d'une demi – heure jusqu'à 2 heures au maximum,
- Chaque moule compacte sous une pression à l'aide d'une presse statique, pour une durée de 300 à 305 seconds sous une charge de :
  - 60 kN pour le mélange de $D_{max} < 14$ mm,
  - 180 kN pour le mélange de $D_{max} \geq 14$ mm,
- Les éprouvettes sont conservées cachés dans leur moule au minimum 4 h jusqu'à retour à la température ambiante,

- On poursuivre au démoulage des éprouvettes, d'où ils numérotent et pèsent à 1 g près, soit le poids sèche M.
- Les dimensions de l'éprouvette « La hauteur H et le diamètre D » sont mesurés à 0.1 mm près, sur trois zones différentes. On calcule ensuite la masse volumique apparente par mesure géométrique :

$$MVA.Géo = \frac{4 \times M}{\pi.D^2.H}$$

- A partir des masses volumiques apparentes géométriques mesurées, les éprouvettes sont réparties en trois lots homogènes de la façon suivant :
  - Deux éprouvettes sont destinées à la mesure des masses volumiques apparentes hydrostatiques;

N.B : Procéder à la mesure de la masse volumique apparente par pesée hydrostatique suivant la norme NA 5238 Méthode C;

  - Cinq éprouvettes sont destinées à la conservation sans immersion d'eau dans le cas des mélanges hydrocarbonés de D_{max}< 14 mm, quatre dans le cas de ceux de $D_{max} \geq$ 14 mm;
  - Les éprouvettes restantes [*5 éprouvettes pour les mélanges hydrocarbonés de D < 14 mm, quatre dans le cas de ceux de D ≥ 14 mm*] sont destinées à la conservation en immersion;

❖ **Conservation des éprouvettes :**

- Les éprouvettes conservent dans des milieux et des conditions bien déterminé avant poursuivre au tester sa résistance à la compression (Phase d'écrasement),
- Prendre la notation **J** étant le Jour de confection et démoulage des éprouvettes, d'où la conservation commence au jour suivant **J+1**. Au cours la durée entre **J** et **J+1**, les éprouvettes conservés sur une surface plane et sous la pression atmosphérique. Au jour suivant c'est-à-dire J+1, on séparer les éprouvettes en deux lots :
- **Premier lot** : des éprouvettes sont conservées à 18°C ± 1°C et dans une ambiance à 50%±10% d'humidité relative pendant 7 jours aussi c'est-à-dire jusqu'à J+8,
- **Deuxième lot :** les éprouvettes sont immergées dans un bain d'eau thermo – réfrigérer à 18 °C ±1°C aussi jusqu'à J+8 avec deux heures de près. (±2h),
- Prendre les mesures des poids humides des éprouvettes conservées dans l'eau pour J+3, J+5 et avant poursuivre au l'écrasement pour J+8destinée à la détermination de pourcentage d'imbibition.

❖ **Essai d'écrasement des éprouvettes :**

- A J+8, les éprouvettes sort les milieux de conservation « Eau et l'Air », et chaque éprouvette suis les étapes suivantes,
- Comme étant mentionné précédemment prendre la mesure de poids humide pour ce jour (J+8),
- Chaque éprouvette soumise à l'essai de compression, à l'aide d'une presse capable de maintenir jusqu'à 200 kN de la force, et avec une vitesse d'écrasement de 60 mm/min (la fourchette entre 45 et 65 mm/min). La charge appliquée sur l'éprouvette dans la forme cylindrique d'où il répartie sur la surface circulaire complètement.
- Chaque éprouvette donne une résistance à la compression simple, déterminée à partir de la charge maximale à la rupture divisée par la surface chargée de l'éprouvette,
- Finalement et après l'écrasement on trouve les résultats suivant :
  - Le rapport d'imbibition de chaque éprouvette pour les jours **J+3**, **J+5** et **J+8**,
  - Les éprouvettes qui conservée dans l'eau présentent la résistance à la compression de mélange bitumineux à l'eau noté « **r** »
  - Les éprouvettes qui conservée à l'air présentent la résistance à la compression de mélange bitumineux noté « **R** »
  - Les deux résistances utilisent pour déterminer la tenue à l'eau ou dis rapport d'immersion qui exprime le chute la résistance de mélange à l'eau, ce dernier c'est le rapport **r/R**,
  - Ont déterminé aussi pour chaque une des éprouvettes la masse volumique apparente par mesure géométrique.

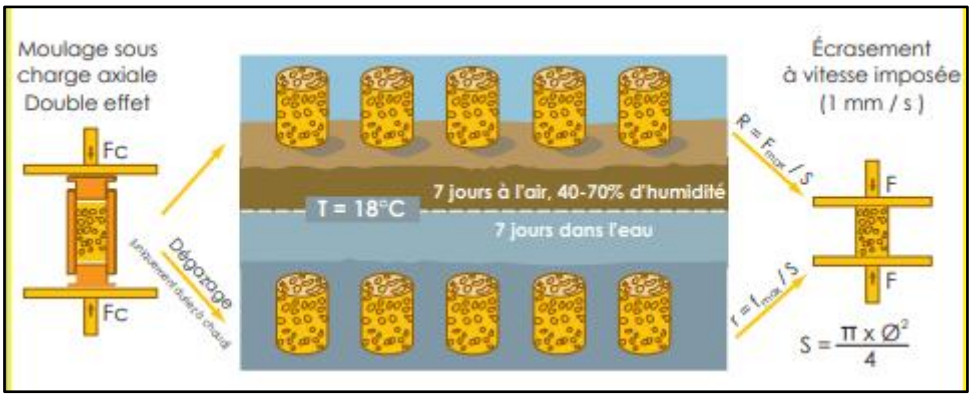


Figure II.6: Mode opératoire de l'essai Duriez

II.5.2. Essai Marshall (NA 5227 (2007) | EN 12697 – 34 (2004)) :

- **Objet :** le but de l'essai c'est la détermination pour une température et une énergie de compactage donné, la résistance de l'enrobé bitumineux au chargement sur la surface latérale dits "stabilité" et la déformation permanente résultants ce cette chargement dits "fluage", et aussi la valeur de la Quotient Marshall de la résistance à la déformation permanant d'un mélange hydrocarboné.
- **Résumé :**

- Les agrégats non enrobé ou enrobé, les moules et tous différents accessoires doivent être chaud pour l'utilisation, et c'est pour cela ils doivent être chauffé dans l'étuve à la température de référence dépendant le liant bitumineux utilise.
- Confectionner des éprouvettes en utilisant de l'enrobé malaxé en laboratoire ou prélevé en centrale. Comme la quantité de mélange nécessaire pour réaliser une éprouvette de hauteur 63.5 varie entre 1 050 g et 1 400 g selon la masse volumique réel.la quantité totale de mélange requis pour quatre (4) éprouvettes pour l'écrasement minimum,
- Après malaxage, peser la quantité ***M*** de mélange hydrocarboné à 0.1% près,
- Placer un disque en papier filtre sur l'embase du moule de compactage assemblé porté préalablement à la température de compactage.
- Les moules sont remplis successivement, & ils étant placés dans une étuve pour la récupération de la température de référence de mélange, avant poursuivre au compactage par impact,
- La dame étant maintenue perpendiculairement au moule, le mélange est compacté en appliquant le nombre de coups requis sur les deux faces supérieures et inferieure (généralement 50 en 55 à 60 secondes selon la présente norme), Terminer le processus de compactage dans les 4 min, Figure II.7.

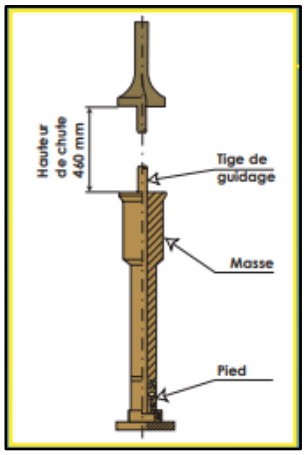


Figure II.7: Dame Marshall

- Laisser les éprouvettes à la température ambiante après compactage jusqu'à la température retirer à 40 °C pour poursuivre au démoulage, et attendre 4 heures après démoulage pour poursuivre l'essai

- Les dimensions des de l'éprouvette sont mesurées, prendre quatre mesures régulièrement sur le l'épaisseur et deux mesures perpendiculaire pour le diamètre. Toutes ces mesures doivent avoir un écart maximum toléré de ± 0,1 mm.

- La masse volumique apparente est calculée à partir des mesures géométriques selon la norme NA 5238 méthode D,

- Les éprouvettes sont immergées dans l'eau à 60 ± 1 °C pendant 40 minutes, et sans dépasse 60 min, &Préparer la tête d'essai en la préchauffant pendant au moins 30 min à (60 ± 1) °C dans un bain d'eau ou pendant 1 h dans une étuve

- Sortir l'éprouvette du bain d'eau et la placer au centre sur le côté dans la tête d'essai Marshall en assurant un bon contact entre les surfaces de l'éprouvette et de la tête d'essai. Placer l'ensemble complet au centre sur la machine d'essai Marshall, (Figure II.7)

- Appliquer la charge sur l'éprouvette afin d'obtenir une vitesse de déformation constante de (50 ± 2) mm/min hors période transitoire, cette partie de l'essai doit être réalisée dans les 40 seconds suivant la sortie de l'éprouvette du bain d'eau. Les résultats obtenus sont ; (Figure II.7)

  a) Stabilité Marshall : c'est la valeur de la charge maximale à la rupture de l'éprouvette multiplié au coefficient correcteur de la forme, elle exprime en l'unité de force (Kilo-Newtons de préférence)

  b) Fluage Marshall : est la valeur de l'affaissement de l'éprouvette, selon son diamètre vertical, au moment de la rupture, il est exprimé en dixième de mm ou mm,

c) Quotient Marshall : c'est le rapport de stabilité sur fluage.

II.5.3. Essai la presse à cisaillement giratoire (PCG) :

Le compactage des mélanges bitumineux est une opération importante en technologie routière, car elle assure la durabilité du revêtement et influence ses caractéristiques mécaniques et sa résistance aux agents physiques extérieurs. Au laboratoire, cependant, les méthodes de compactage les plus usuelles et les plus simples ne sont que de médiocres simulations de ce qui se passe en chantier. Le compactage par chocs suivant la méthode Marshall se fonde sur un principe différent du travail effectue sur le chantier, les éprouvettes obtenues ont un squelette minéral, qui le plus souvent, se bloque en cours de compactage par arc-boutement des particules granulaires. [21]

Photo II.2 : Presse de Cisaillement à Giratoire.

- **Principe d'essai PCG :**

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

On observe l'augmentation de compacité (diminution du pourcentage de vides) en fonction dénombre de giratoire. [21]

Pour mesure la compactibilité, un critère signifie la capabilité de compactage des matériaux, deux méthodes peuvent être utilisées. La première, au moins deux éprouvettes sont compactées

à différents niveaux d'énergie de compactage avant le mesurage de leur masse volumique apparente. La seconde, une seule éprouvette est utilisée dont on détermine l'accroissement de masse volumique à chaque étape de compactage en fonction de la diminution d'épaisseur (Figure II.8) [NF EN 12697-10, 2003]

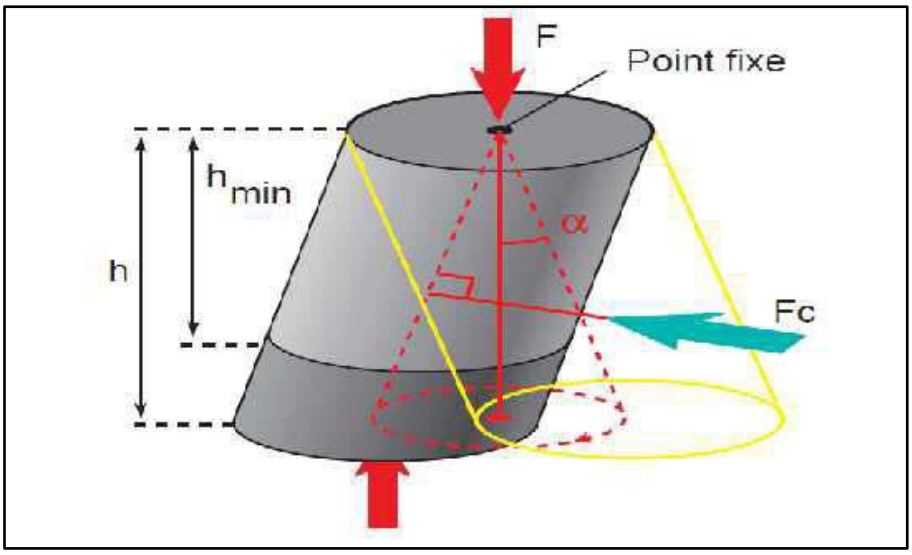


Figure II.8. Principe de Cisaillement Giratoire. [22]

H_{min} : hauteur minimale pour 0 % de vide ;

H : hauteur apparente pour N girations ;

F : force axiale ;

Fc : force de cisaillement ;

α : angle d'inclinaison.

Note : Les deux méthodes peuvent être utilisées au but de déterminer la compactibilité pour le cas compactage par impact comme dans l'essai Marshall.

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

Une courbe pourcentage de vides en fonction de l'énergie de compactage est établie. L'énergie de compactage se caractérise, dans le cas du damage, par le nombre de coups, dans le cas du compactage giratoire, par le nombre de girations et, dans le cas du compactage par vibration, par le temps de vibration en secondes.

Une équation mathématique est déduite des résultats expérimentaux et les paramètres de cette équation caractérisent la compactibilité du mélange, l'équation pour le cas de la presse cisaillement giratoire est mentionnée dans le titre, expression de résultats de cette partie.

II.5.4. Essai d'orniérage :

Le phénomène d'orniérage est une dégradation de la chaussée facilement mesurable et visible en surface, des traces permanentes et creusées dans la chaussée font leur apparition suite aux passages répétés des véhicules lourds (Photo II.3).

Il s'agit d'un des problèmes majeurs de dégradation des chaussées flexibles. Cette section vise dans un premier temps à définir la nature et l'origine des ornières, dans un second temps les trois principaux types d'ornières et dans un troisième temps elle cherche à illustrer le phénomène et le comportement à l'orniérage des matériaux bitumineux. [23].

Photo II.3 : Machine de l'essai d'orniérage.

- **Principe d'essai d'orniérage :**

Le corps d'épreuve est une plaque parallélépipédique de 5 cm ou de 10 cm d'épaisseur, selon que l'épaisseur de mise en œuvre de l'enrobé est inférieure ou supérieure à 5 cm. Cette plaque est soumise au trafic d'une roue équipée d'un pneumatique (fréquence : 1 Hz, charge : 5 kN, pression : 6 bars), dans des conditions sévères de température (60 °C) (Figure II.9). [21]

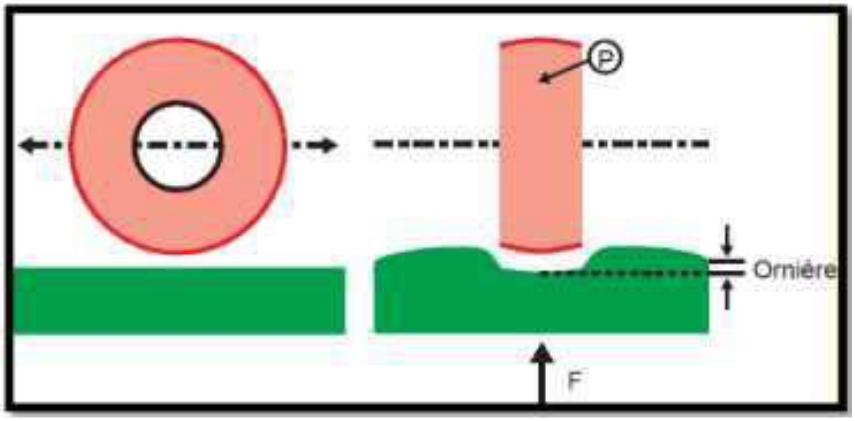


Figure II.9. Principe de l'essai d'orniérage. [22].

II.5.5. Essai de fatigue :

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

Par définition, une éprouvette est dite fatiguée lorsque son module atteint la moitié de sa valeur initiale mesurée au premier cycle de chargement dans les mêmes conditions d'essai (même température et même fréquence).

La durée de vie Nf d'une éprouvette est donc le nombre de cycles correspondant à un module de rigidité égal à la moitié du module initial de cette même éprouvette (figure II.10). [24]

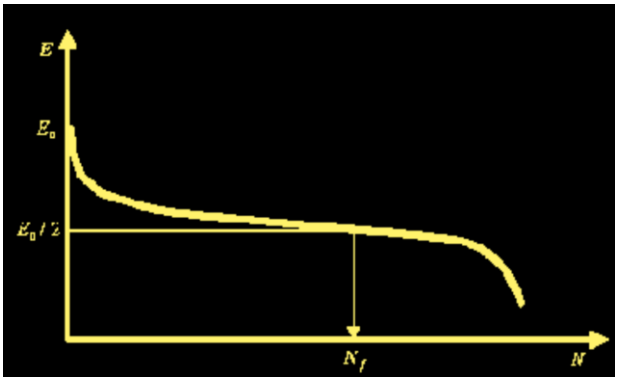


Figure II.10. Courbe du critère classique de fatigue et détermination de la durée de vie.

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

❖ **Principe :**

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

Après modélisation de la charge appliquée, les calculs des déformations et contraintes dans ces modèles multicouches sont effectués à l'aide du modèle de Brumisateur [25].

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

L'essai de fatigue en laboratoire permet de déterminer la déformation ε_6 conduisant à la rupture d'une éprouvette par fatigue sous certaines conditions d'essai (fréquence, température) pour 10^6 chargements.

II.6. 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 :

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

CHAPITRE III

Formulation du BBSG 0/14

III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de présenter les matériaux utilisés dans le cadre de cette étude, et de déterminer leurs caractéristiques physico-mécaniques et chimiques pour formuler les bétons bitumineux semi-grenu. A la fin, nous avons nous avons discuté des résultats obtenus selon la norme approuvée pour chaque essai.

III.2. CARACTERISTIQUES DES AGREGATS UTILISES :

III.2.1. Gravier :

Le gravier utilisé dans ce cas pour obtenir du béton bitumineux 0/14 est 3/8 et 8/15 de la région de KOUSSAN (Carrière BAHMOU), ont été soumis aux essais et analyses au laboratoire pour déterminer leurs caractéristiques physiques et mécaniques.

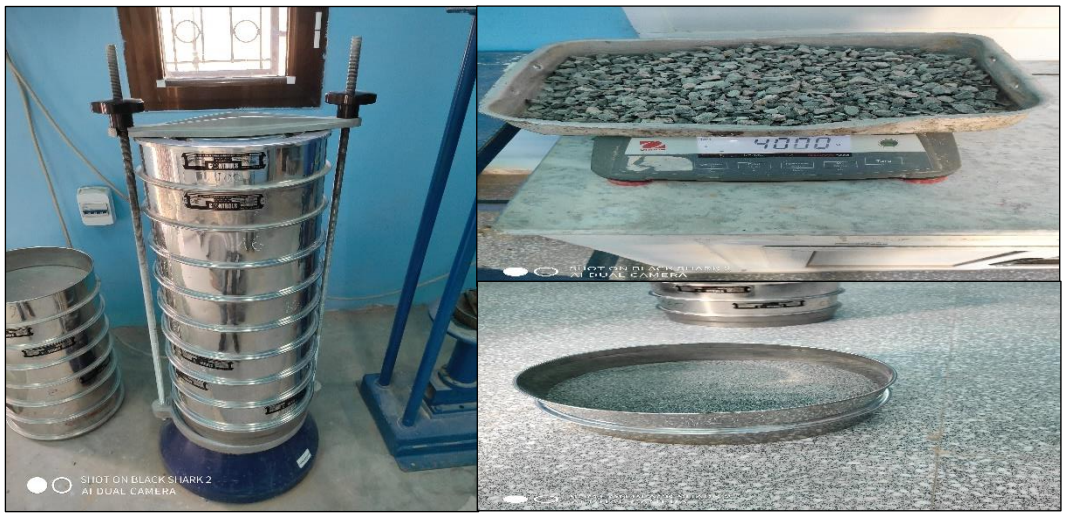
a) Analyse granulométrique (NFP 18-554) :

L'analyse granulométrique consiste à classer en classe granulaire un échantillon d'essai ou une masse de concassé ou roulé.

L'essai a pour but de déterminer en poids la distribution des grains du matériau, on sépare par tamisage les plus gros éléments jusqu'à 0,063 mm puis par sédimentation les éléments inférieurs à 0,063 mm.

- **Principe d'essai :**

L'analyse granulométrique consiste à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissants du haut ver la base.



PhotoIII.1 : Analyse Granulométrique

❖ **Résultats :**

Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Dans notre projet on s'intéresse sur deux classe de gravier sont « 3/8 – 8/15 » et le sable concassé « 0/3 » aussi.

Les tableaux ci-dessous regroupe les résultats obtenus.

Tableau III.1 : Analyses granulométriques des granulats étudiés (8/15).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulés	Pourcentage refus	Pourcentage passant
16	24	24	0.6	99.4
12.5	754	778	19.45	80.55
10	1452	2230	55.75	44.25
8	1284	3514	87.85	12.15
6.3	350	3864	96.6	3.4
5	70	3934	98.35	1.65
2.5	32	3966	99.15	0.85

Tableau III.2 : Analyses granulométriques des granulats étudiés (3/8).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulés	Pourcentage refus	Pourcentage passant
10	0	0	0	100
8	79	79	2.63	97.37
6.3	426	505	16.83	83.17
5	595	1100	36.66	63.34
4	760	1860	62	38
3.15	615	2475	82.5	17.5
2.5	383	2858	95.2	4.8
2	89	2947	98.23	1.77
1.60	25	2972	99.06	0.94
1.25	7	2979	99.3	0.7

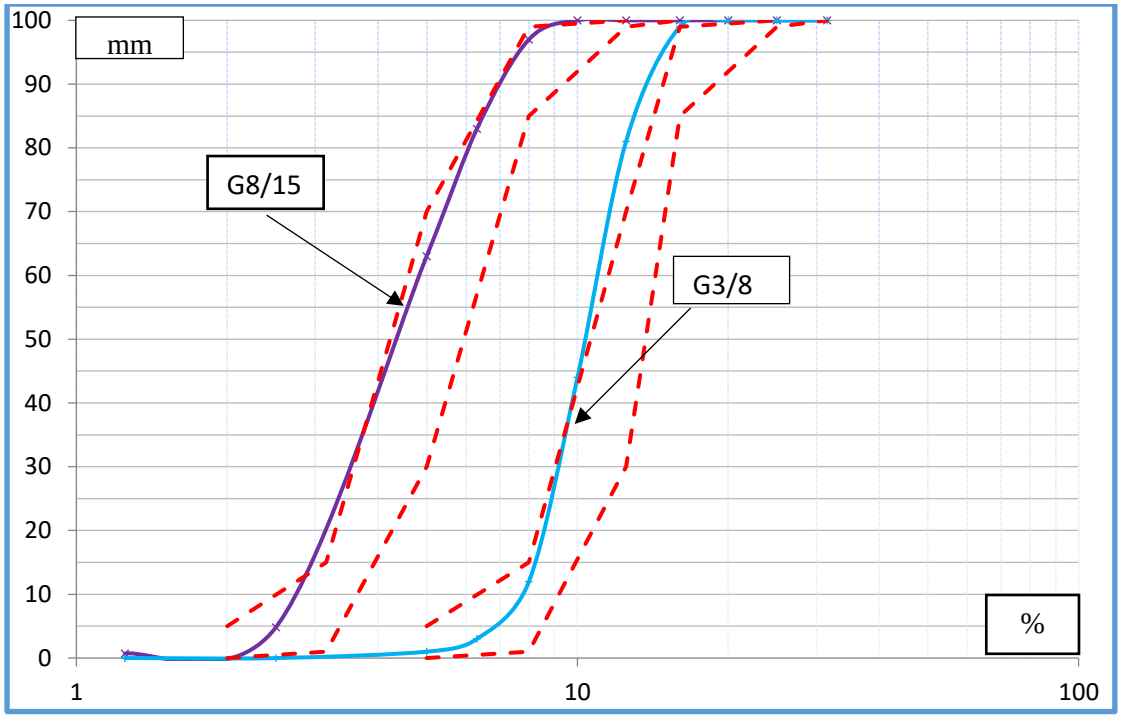


Figure III.1: Courbes granulométriques des classes 3/8 – 8/15

b) La propreté superficielle (NF P 18-591) :

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particule inférieur à 0.5 mm mélange ou adhérent à la surface des granulats supérieur à 2mm. Ces particules sont séparées par lavage sur le tamis correspondant.

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Résultat de La propreté superficielle

Classe	3/8	8/15	Spécification
Propreté P(%)	0.43	0.28	**≤ 1 %**

- Pour l'essai de propreté les résultats sont conformes.

c) Mesure du coefficient 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

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

- ✓ **L** : distance minimale du deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.
- ✓ **E** : distance minimale du deux plans parallèles tangents au granulat.
- ✓ **G** : dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

Le coefficient d'aplatissement « A » d'un ensemble de granulats est le Pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation :

$$\frac{G}{E} > 1.58$$

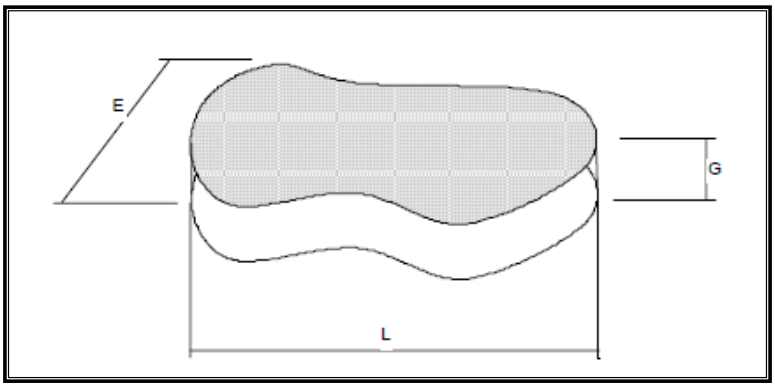


Figure III.2 : Dimensions d'un granulat

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats obtenus :

Tableau III.4 : Résultat de coefficient d'aplatissement

Classe	3/8	8/15	Spécification
Coefficient d'aplatissement A (%)	12.54	25	**≤ 20 %**

- La valeur de coefficient d'Aplatissement pour la classe 8/15 est supérieure à la valeur recommandée par les spécifications.

d) Masse volumique (NF P18-301):

- ❖ **Masse volumique absolue :**

Est la masse par unité du volume de la matière qui constitue le granulat, 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)

Photo III.2 : Masse volumique absolue

- **Masse volumique apparente :**

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

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

γ_A = La masse volumique apparente (g/cm^3)

M : La masse de l'échantillon (g)

Va : Le volume apparent de l'échantillon (cm^3)

Photo III.3 : Masse volumique apparent

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III.5 : Résultat de la masse volumique (absolue, apparent)

Type d'agrégat	γ_s (g/cm^3)	γ_A(g/cm^3)
Gravier 3/8	2.7	1.35
Gravier 8/15	2.6	1.46

e) Analyse chimiques sommaires (NF 15-461) :

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

- Carbonates.
- Insoluble
- Sulfates SO3

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 :

Tableau III.6 : Résultats de l'analyse chimique

Minéraux	Insoluble (%)	Sulfates SO_3 (%)	Carbonates (%)
Granulat	81.5	négligeable	08

- D'après la composition chimique, les résultats ont acceptable.

f) Essai Los Angeles (NF P 18-573) :

❖ **But d'essai :**

Cet essai permet de déterminer la résistance aux chocs des granulats. Il simule les chocs des roues des véhicules sur une route ou le poids d'un bâtiment en béton.

❖ **Principe d'essai :**

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 1,6 mm 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.

Photo III.4 : La machine « Los Angeles »

Photo III.5: Les boulets

g) Essai de micro-deval en présence d'eau (MDE) ; (NA 5129 | EN 1097 – 1)

❖ **But d'essai :**

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

❖ **Principe d'essai :**

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 1.6 mm 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.

Photo III.6 : La machine micro-Deval

Photo : III.7 : Billes inoxydables

Le tableau ci-dessous regroupe le résultat de l'essai los Angeles et l'essai Micro Deval obtenu :

Tableau III.7 : Résultat de l'essai (Los Angeles et Micro Deval).

Les essais	3/8	8/15	Spécifications
Los Angeles	20	15	≤ 20%
Micro Deval	35	14	≤ 20%

- Pour les résultats d'essai Los Angeles : les résultats de G3/8 et G8/15 sont inferieur a 20% donc résultat acceptable.
- Pour les résultats l'essai Micro Deval : le résultat de G3/8 est supérieur à la valeur recommandée par les spécifications, mais accepté pour G8/15.

III.2.2. Sable :

a) Analyse granulométrie (NF P 18-560) :

Le tableau ci-dessous regroupe le résultat obtenu, aussi le courbe granulométrique dans le figure III.3.

Tableau III.8: Analyses granulométriques des granulats étudiés (0/3).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulés	Pourcentage refus	Pourcentage passant
5	0	0	0	100
2.5	93	93	7.75	92.25
1.25	344	437	36.41	63.59
0.63	247	684	57	43
0.315	172	856	71.33	28.67
0.160	136	992	82.66	17.34
0.080	97	1089	90.75	9.25

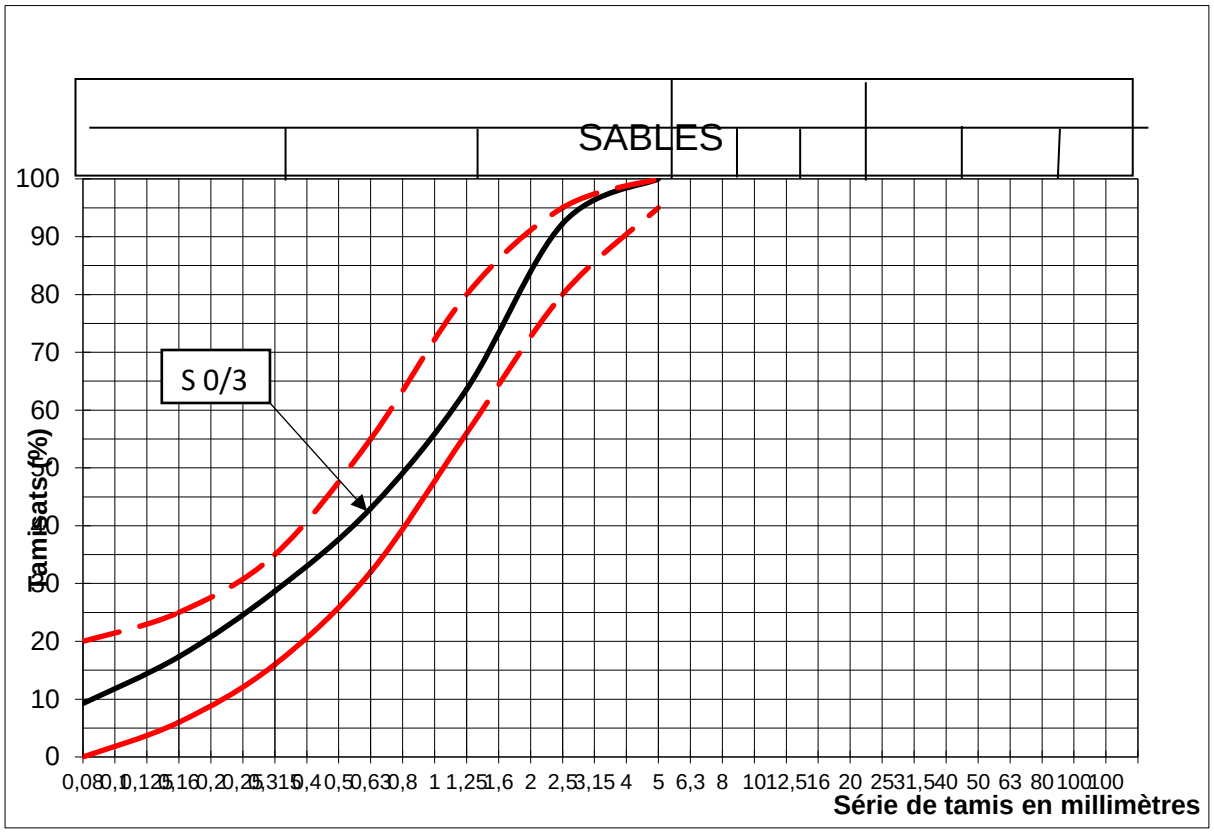


Figure III.3: Courbes granulométriques des classes 0/3.

b) Masses Volumiques (NF P18-301):

Résultats de sable 0/3 dans le tableau suivant :

Tableau III.9: Résultat de la masse volumique (absolue, apparent)

Type d'agrégat	γ_s (g/cm^3)	γ_A(g/cm^3)
Sable 0/3	2.6	1.54

c) Équivalent du sable (ES), (NF EN 933-8+A1 :2015):

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

- **Principe :**

Verser une prise d'essai de sable et une petite quantité de solution dans un cylindre gradué et agiter de façon à détacher les revêtements argileux de sable de la prise d'essai.
« Irriguer », alors le sable en utilisant le reste de solution floculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable.
Après 20 minutes, calculer l'équivalent de sable (SE) comme la hauteur de sédiment, exprimée en pourcentage de la hauteur totale de matériau floculé dans le cylindre.

Photo III.8 : Equivalent de sable

❖ **Résultats :**

L´équivalent de sable est donné par la formule :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

ES : la valeur de l´équivalent de sable.

h_1 : hauteur (sable+ éléments fins).

h_2 : hauteur (sable propre seulement).

Tableau III.10: Résultats d'équivalent de sable du sable concassé 0/3

Echantillon	Sable concasse 0/3	Spécification
Es (%)	**72.07**	**> 60**

Le tableau ci-dessous pour classe le sable selon sa nature :

Tableau III.11: Nature et qualité du sable en fonction de l'ES.

ES	Nature et qualité du sable
ES<60	Sable argileux-Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons qualité.
60<ES<70	Sable légèrement argileux- de propreté admissible pour béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de retrait.
70<ES<80	Sable propre- à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES >80	Sable très propre- l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

- Pour les routes, ES doit être supérieur à 60, donc il répond à la norme. Et d'après le tableau III.11 le sable concassé est un Sable propre- à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement.

III.2. LIANT HYDROCARBONE

III.2.1. Les essais sur liant hydrocarboné (Bitume) :

a) Essai de pénétrabilité (EN 1426) :

❖ **But d'essai :**

La présente mode opératoire a pour but de déterminer la consistance des bitumes et des liants bitumineux avec l'essai de pénétrabilité, ce mode applique pour des liants de pénétrabilité inférieure à 500 1/10 mm.

❖ **Principe d'essai :**

Est mesuré 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 0,1 mm), sont :

Température 25 °C, Charge appliquée 100 g, Durée d'application de la charge 5 s.

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.

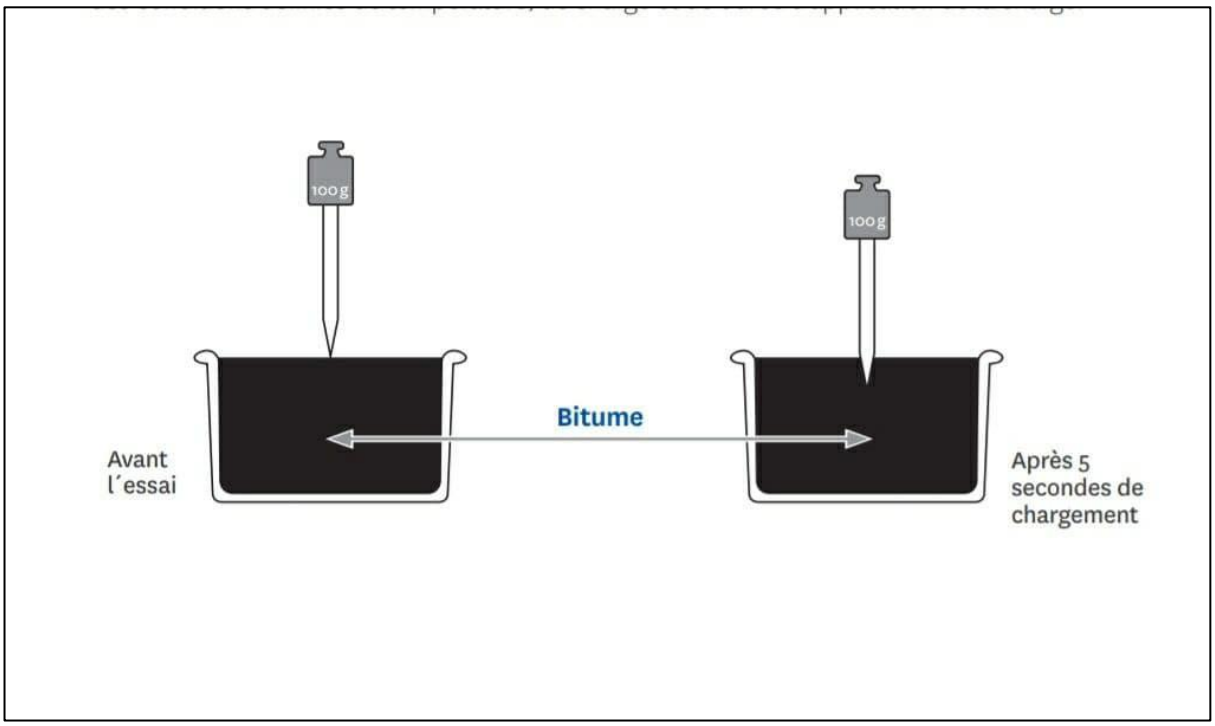


Figure III.4 : Principe de pénétration

❖ Appareillage :

- Tige
- Support gradué
- Porte-aiguille
- Système de blocage
- Masse de 50 g
- Aiguille
- Cuve de transfert à fond plat
- Récipient d'échantillon d'essai
- Socle
- Écrou de mise à niveau

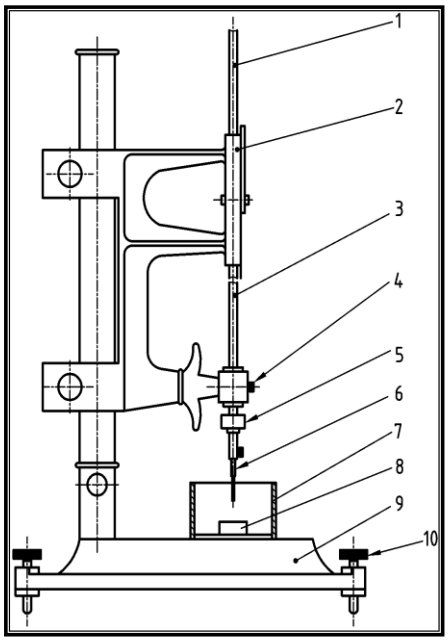


Figure III.5 : Appareil de pénétrabilité

Photo III.9 : Appareil de pénétrabilité

❖ Mode opératoire

- ✓ Le bitume est chauffé à une température élevé (160°c) pour permettre sa liquéfaction ainsi pouvoir le mettre dans un récipient pour effectuer la pénétration il faut le remplir jusqu'à 1 cm de la surface aussitôt Placer le récipient a l'air libre pendant quelque minute puis le poser dans une étuve pour qu'il subisse une régression de température jusqu'à 25°c.
- ✓ Ajuster le pénétromètre à l'aide des écrous à niveau.
- ✓ Poser la Cuve de transfert à fond plat sur la Socle pour maintenir la température 25°c
- ✓ Poser le thermomètre et le Récipient d'échantillon d'essai dans la cuve.
- ✓ Vérifié le support gradué pour s'assurer que la tige est au niveau zéro.
- ✓ Ajuster l'aiguille en la faisant descendre jusqu'à ce qu'elle touche la surface de l'échantillon.
- ✓ Poser le chronomètre et s'assurer qu'il est à zéro.

- ✓ Maintenir le système de blocage pendant (5 s) puis le lâcher ensuite appuyé sur la tige et lire sur le support gradué la valeur de la pénétration.
- ✓ Répéter l'opération trois fois dans différent point espacé de minimum 1cm chacun et prendre la moyenne entre eux de telle sorte qu'ils forment un triangle.

Note :

- Utilisez trios aiguilles pour éviter le frottement et obtenir des résultats plus précis.
- L'écarte maximale entre la détermination la plus élevé et la plus bas c'est « 2 »

b) Essai de point de ramollissement (EN 1427) :

❖ **But d'essai :**

C'est de détermination la température de ramollissement des bitumes et des liants bitumineux, dans la plage des températures de 30 °C à 150 °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.

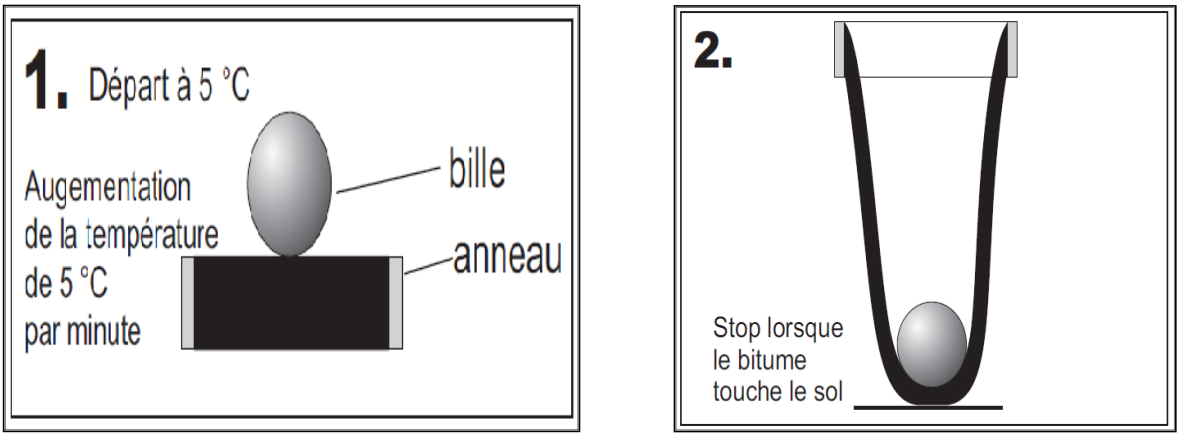


Figure III.6 : Principe de point de ramollissement

❖ **Appareillage :**

- Anneaux
- Plaque de coulage

- Billes
- Dispositifs de guidage des billes
- Porte-anneaux et assemblage,
- Bain
- Thermomètres

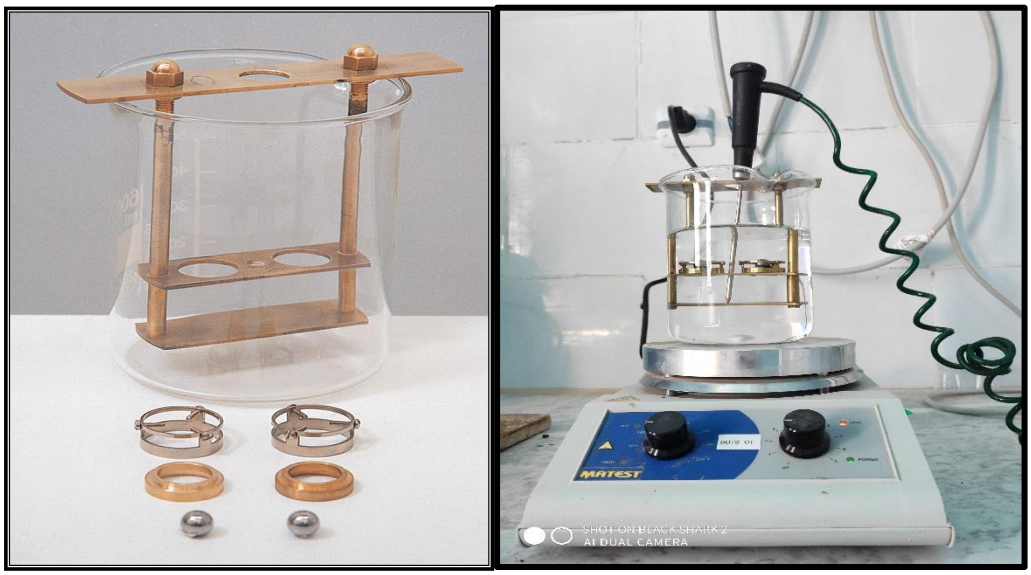


Photo III.10 : Appareillage billes et anneaux

❖ **Mode opératoire**

✓ Choisir le liquide de bain et le thermomètre de la façon suivante, en fonction de la température de ramollissement attendue :

- Utiliser de l'eau fraîchement distillée ou de l'eau déminéralisée pour des températures de ramollissement comprises entre 30 °C et 80 °C et un thermomètre avec des subdivisions de 0,2 °C. La température initiale de bain doit être de 5 °C.
- Utiliser du glycérol pour les points de ramollissement supérieurs à 80 °C et jusqu'à 150 °C et un thermomètre avec des subdivisions de 0,5 °C, La température initiale de bain doit être de 30 °C.

✓ Assembler l'appareillage avec les anneaux d'échantillon.

✓ Placer le bain dans de l'eau glacée pour le refroidir jusqu'à 5 °C (bain d'eau), ou le réchauffer lentement jusqu'à atteindre 30 °C (bain de glycérol).

✓ À l'aide de pincettes, saisir les billes et les placer dans chacun des dispositifs de centrage.

✓ Agiter le liquide du bain et le chauffer par en-dessous, afin que la température augmente à une vitesse uniforme de 5 °C/min.

- ✓ Pour chaque ensemble bille et anneau, noter la température indiquée par le thermomètre au moment où le liant bitumineux qui entoure la bille touche la plaque inférieure
- ✓ Répéter l'essai si l'écart entre les deux températures dépasse 1 °C pour les températures de ramollissement inférieures à 80 °C, ou 2 °C pour les températures de ramollissement supérieures à 80 °C.

Remarque :

- Températures de ramollissement comprises entre 30 °C et 80 °C dans un bain d'eau. Noter le résultat obtenu.
- Températures de ramollissement supérieures à 80 °C dans un bain d'eau. Éliminer le résultat en le considérant comme non valable, et répéter l'essai dans un bain de glycérol.
- Températures de ramollissement inférieures ou égales à 84 °C dans un bain de glycérol. Répéter la détermination dans un bain d'eau. Si le résultat dans le bain d'eau est inférieur ou égal à 80 °C, noter ce résultat, sinon noter le résultat obtenu dans le bain de glycérol.

c) Essai de densité relative « méthode du pycnomètre » (NF EN 15326) :

❖ **But d'essai**

Déterminer la densité et la masse volumique des liants bitumineux suivant la méthode du pycnomètre à bouchon capillaire.

❖ **Principe d'essai**

La masse d'un échantillon de bitume et la masse du liquide d'essai correspondant à des volumes identiques sont comparées. L'égalité des volumes est assurée par le remplissage du pycnomètre et par le débordement du liquide

Le pycnomètre calibré est rempli approximativement aux trois quarts de sa capacité avec le liant bitumineux dont on cherche la masse volumique ; il est pesé avec le bouchon. Le pycnomètre est rempli avec un liquide d'essai et pesé à nouveau.

La densité et la masse volumique doivent être calculées par comparaison entre les deux masses.

❖ **Appareillage :**

- Pycnomètre
- Bain d'eau,
- Thermomètre du bain

- Balance
- Étuve.
- Bécher de forme basse

Photo III.11 : Le pycnomètre

❖ **Mode opératoire**

- ✓ Remplir le bain avec de l'eau distillée ou de l'eau déminéralisée et maintenir la température de l'eau du bain à (25) °C.
- ✓ Remplir partiellement le bécher de 600 ml avec de l'eau distillée fraîchement bouillie et refroidie ou de l'eau déminéralisée jusqu'à un niveau tel que le pycnomètre soit immergé d'une hauteur minimale approximative de 40 mm. Immerger partiellement le bécher dans le bain d'eau à une hauteur telle que le fond du bécher soit immergé à une profondeur minimale approximative de 100 mm, tandis que le haut du bécher est situé au-dessus du niveau de l'eau du bain.
- ✓ Pesée du pycnomètre sec.
- ✓ Pesée du pycnomètre rempli avec le liquide d'essai.
- ✓ Pesée du pycnomètre rempli avec l'échantillon de liant bitumineux :

Introduire suffisamment de liant dans le pycnomètre propre, sec et réchauffé (entre 50 °C et 80 °C) pour le remplir environ au trois quarts de sa capacité.

- ✓ Placer le pycnomètre rempli dans une étuve pour permettre l'évacuation des bulles d'air.
- ✓ Laisser le pycnomètre et son contenu refroidir jusqu'à 25 °C.

- ✓ Ajouter le liquide d'essai dans le pycnomètre qui contient au préalable l'échantillon de liant bitumineux, mettre en place le bouchon sans l'enfoncer et placer le pycnomètre dans le bécher.
- ✓ Laisser le pycnomètre dans le bécher pendant une durée d'au moins 30 min.
- ✓ Pesée du pycnomètre rempli avec l'échantillon de liant bitumineux et le liquide d'essai.

❖ **Le Calcul**

Les symboles suivants sont utilisés dans les calculs :

A : est la masse (g) du pycnomètre, bouchon compris.

B : est la masse (g) du pycnomètre rempli avec le liquide d'essai.

C : est la masse (g) du pycnomètre rempli partiellement avec l'échantillon de liant bitumineux.

D : est la masse (g) du pycnomètre plus l'échantillon de liant bitumineux plus le liquide d'essai.

d: est la densité du liant bitumineux à 25 °C.

ρ_T : est la masse volumique du liquide d'essai.

$$d = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

$$\rho = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \times \rho_T$$

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

Tableau. III.12: Caractérisations du liant.

Essai	Résultats	Spécification
Pénétrabilité à 25°C	35.67	35 à 50
Point de ramollissement (°C)	52.45	50 à 58
Densité relative à 25°C	1.033	1.0 à 1.10

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

III.3. ETUDE DE FORMULATION :

❖ But de la formulation

La détermination de la composition théorique d'un béton bitumineux comporte deux phases principales :

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

❖ Formulation Selon La Méthode Française

Cette méthode repose sur deux grands axes:

- Le premier est la détermination de la quantité minimale de liant en fonction de la granulométrie du mélange par le module de richesse « k ».
- Le deuxième est l'utilisation Marshall ou Duriez pour estimer le comportement lors du compactage du mélange.

❖ Composition Granulaire :

Nous avons choisi d'étudier un béton bitumineux semi-grenu BBSG de classe granulaire 0/14 ; Il s'agit d'un mélange composé des trois classes granulaires : 0/3, 3/8 et 8/15.

A partir des courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies pour la réalisation de l'étude de formulation, on compose un mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite dans les limites du fuseau défini par les spécifications (figure III.7).

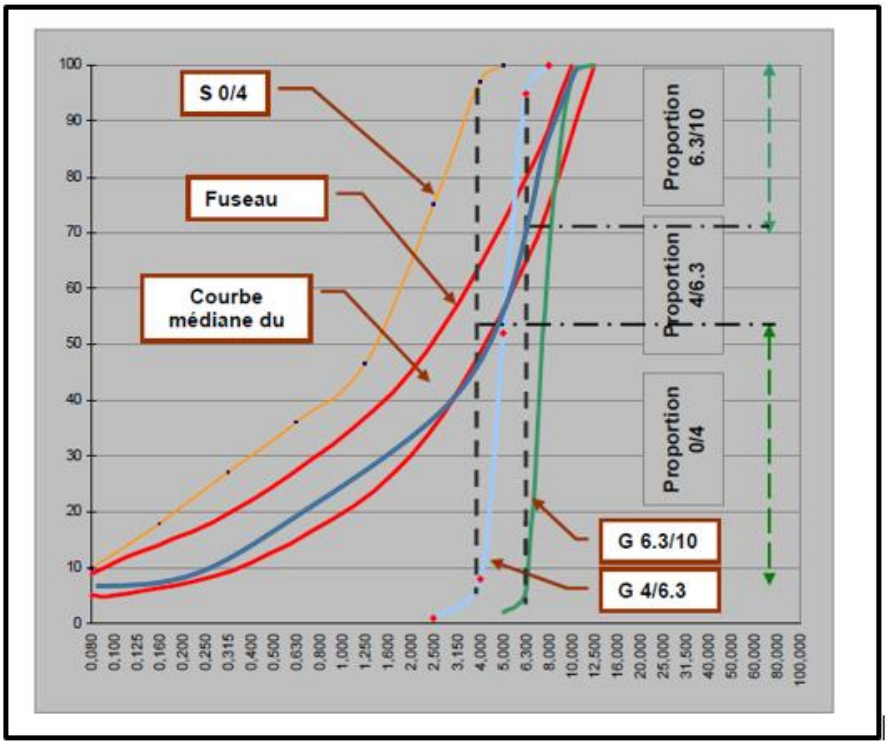


Figure III.7 : Un mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite.

À partir des courbes moyennes des classes granulaires, on calculera la courbe du mélange minéral, le pourcentage de passants à un tamis pour la courbe de mélange est la somme des pourcentages de passants au même tamis des courbes des constituants pondérés par les proportions correspondantes, la figure suivante présente la composition granulaire proposés dans ce projet d'étude.

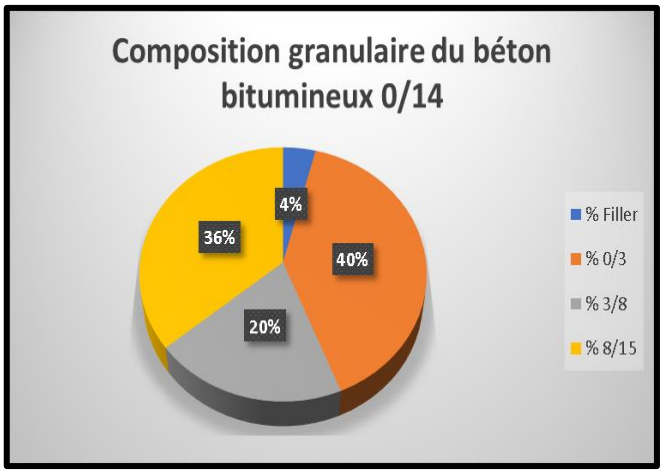


Figure III.8 : Composition granulaire du béton bitumineux 0/14

Les pourcentages obtenus sont déterminés d'après la courbe granulométrique de chaque agrégat en tenant compte du fuseau de référence 0/14 (figure III.9).

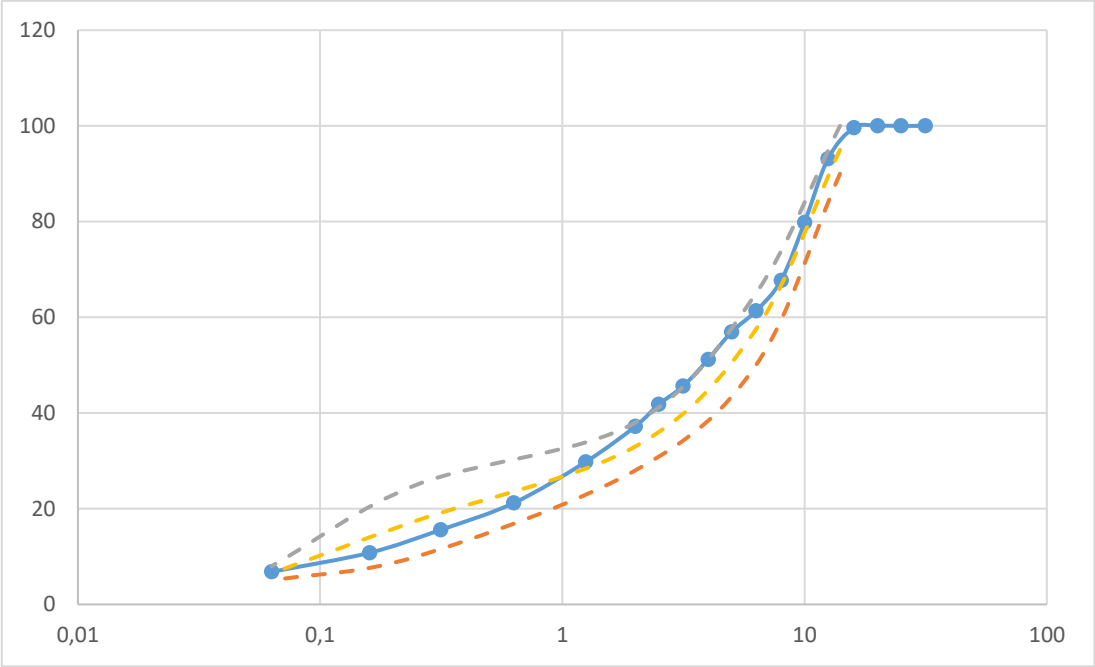


Figure III.9: La courbe granulométrique du béton bitumineux 0/14

❖ **Détermination de la teneur en bitume :**

- Calcul de Coefficient Correcteur α :

α = 2,65 / MVRg avec $MVRg = 100 \div \left[\frac{4}{2.7} + \frac{40}{2.7} + \frac{20}{2.6} + \frac{36}{2.6}\right] = 2.643 \Rightarrow \boxed{\alpha = 1.003}$

- Calcul la Surface Spécifique des Agrégats Σ :

Σ = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f = 0.25 (38.7) + 2.3 (45.7) + 12 (8.8) + 135 (6.8) ⇒

$$\boxed{\Sigma = 11.384\ Kg/m^2}$$

Dans le but de calculer le module de richesse K, on prend des valeurs qui s'insèrent dans la fourchette 3,3 à 3,9 pour le béton bitumineux, le tableau III.13 présente la valeur de module de richesse et la teneur en liant obtenus.

Tableau III.13: Teneurs en bitume

Teneur en Liant Théorique							
Module de richesse (k)	*3.20*	*3.25*	*3.30*	*3.35*	*3.40*	*3.45*	*3.50*
Coef correcteur (α)	*1.003*						
Surface Spécifique $\sum$ *(Kg/m²)*	*11.384*						
Teneur en liant (%)	*5.22*	*5.30*	*5.38*	*5.46*	*5.54*	*5.63*	*5.71*
Densité théorique *(%)*	2.455	2.453	2.450	2.448	2.445	2.443	2.440

III.3.1. Résultat d'essai Duriez :

Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats de l'essai Duriez, qui sont la masse volumique apparente des éprouvettes et résistance à la compression :

Tableau III.14 : Résultats de l'essai Duriez.

	EAU			**AIR**		
N^0 Eprouvette	**01**	**02**	**03**	**01**	**02**	**03**
MVA (g/cm^3)	2.07	2.07	2.07	1.95	1.95	1.95
Moyenne	**2.01**					
Résistance à la compression (bar)	40.56	39.31	38.41	61.56	60.01	60.64
RC Moyenne (bar)	**r**	**39.43**		**R**	**60.68**	
Tenue à l'eau /Rapport d'immersion	**r/R**	**0.650**				
Spécifications	**r/R**	**≥ 0,75**				

III.3.2. Résultat d'essai Marshall :

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III.15 : Résultats de l'essai Marshall.

N^0 Eprouvette	**01**	**02**	**03**
Stabilité Marshal (kN)	11.868	11.859	11.969
Moyenne :Stabilité	**11.899**		
Fluage (mm)	2.625	2.859	2.754
Moyenne :fluage	**2.739**		
Quotient Marshall = Stabilité/ Fluage (KN/mm)	4.85	4.17	4.34
Moyenne = Quotient Marshall	**4.453**		

- **Remarque :**
- Les résultats des stabilités Marshall trouvées sont conformes selon les normes françaises qui préconisent des stabilités **supérieures à 10.5 KN** (Pour un enrobé semi grenue 0/14).
- Les résultats du fluage Marshall trouvées sont conformes selon les normes françaises qui ≤ **4 mm.**

III.4. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons choisi d'étudier un béton bitumineux semi-grenu BBSG de classe granulaire 0/14 ; Il s'agit d'un mélange composé des trois classes granulaires : 0/3, 3/8 et 8/15.

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

- Les granulats de la présente étude de formulation ont montré une qualité acceptable pour une utilisation dans la confection d'un Béton Bitumineux BB 0/14.
- Le bitume utilisé dans ce cas est : Bitume 35/50.
- Les essais de performances mécaniques (Essai Marshall, Essai Duriez), qui ont montré des résultats acceptables.

CONCLUSION GENERALE

La construction et la restauration des routes nécessitent un budget élevé afin d'étudier et d'améliorer la qualité des mélanges bitumineux, et la qualité et la qualité des matériaux utilisés occupe une grande partie de cette étude.

Dans ce travail, nous avons utilisé des matériaux locaux de la région d'Adrar dans un effort pour exploiter et développer le produit local, ce qui contribuera naturellement à réduire les coûts de transport et autres, nous avons donc mené une série d'essais (Los, MDE, Propreté...etc.) qui étudient ses propriétés physiques, mécaniques et chimiques.

Nous avons obtenu des résultats acceptables selon les normes adoptées en Algérie. Ensuite, nous avons préparé le mélange bitumineux à appliquer (BBSG).

Enfin, pour étudier les propriétés mécaniques d'enrobé bitumineux, nous avons réalisé les essais de Marshall et Duriez qui visent : la résistance à la déformation permanente (Marshall), la résistance à la pression et la sensibilité à l'eau (Duriez). Les résultats obtenus sont acceptables.

REFERANCE

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

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

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

[4] : CONCEPTION GEOMETRIQUE ET STRUCTURELLE DES ROUTES Côte d'Ivoire.

www.slideplayer.fr/slide

[5] : 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).

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

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

[8]: Global Motor Graders Sales Market 2017 - Caterpillar, VOLVO, Komatsu, John Deere,

CASE. www.openpr.com

[9] : Wiki TP 2.1 est développé avec le soutien de la FRTP Normandie et du Fond Social Européen. www.wikitp.fr/compacteurs

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

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

[12] : Yann LEFEUVRE, (2001)**,** « Contribution à l'étude du comportement en fatigue des enrobés bitumineux, Etude de l'allongement des éprouvettes comme manifestation de

l'endommagement diffus, Expérimentation - Modélisation », Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France.

[13] : Laboratoire du travail public de sud région du Ghardaïa (LTPS)

[14] : Said LALDJI, (2015), « Les Enrobés bitumineux », ETS Cours.

[15] : (Bitume Québec ; 2008), Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Novembre 2008.

[16] : [KETTAB R. B et J.M. FLEUREAU ; 2002] : « SABLE ENROBE: ETUDE ET FORMULATION », Laboratoire construction et environnement ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE (E.N.P).

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

[18] : (HACHANI. M, DAAS. D ; 2013), « Etude d'un béton bitumineux modifie à la poudrette de caoutchouc - influence du mode de modification », Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie.

[19] :(DJABRI. A et HAMMANA. A ; 2016), « Caractérisation des enrobes bitumineux recycles », L'Université de Damas

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

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

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

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

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

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