

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



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
Master académique
Option : Matériaux en Génie Civil

Préparé par :

GUERBOUZ Meriem

MERABTI Sabah

THEME

***Etude de formulation d'un béton bitumineux semi-grenu et
contrôle de compacité –par carottage – après mise en service.
Cas d'agrégats de Mansouria – Adrar***

Mémoire évalué par :

Dr. DJAFARI Driss

Univ. Adrar

Mr. ABBADI Mohammed Salem

Univ. Adrar

Encadreur:

Dr. AKACEM Mustapha

Univ. Adrar

Année Universitaire 2021-2022



Remerciements

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

*Notre sincères remerciements vont également à notre encadreur **Dr. AKACEM Mustapha**, pour l'élaboration de ce travail, sa patience, son aide précieuse, ses conseils, son soutien permanent et pour tous ses efforts.*

*Nous remercions vivement et infiniment, Mme **SOUILEM Hadjer** et **SANKIKOU Ahmed**, Outrenous avoir accueilli au laboratoire, ils nous ont guidé tout au long de notre stage.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à Mr **AMIEUR Abdennacer**, le directeur technique de la direction générale de l'LTPS à Ghardaïa, ainsi qu'à Mr **BOUCHERBA Mohammed**, l'expert à l'Unité LTPS de Ghardaïa, pour leur aide et soutient.*

En fin, nous voudrions remercier tout le corps professoral de l'Université Ahmed Draïa Adrar pour leur formation et leurs conseils.

Merci



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

A mes chers parents, mon père et ma mère, pour leur amour et leurs encouragements.

A ma grand-mère, pour tous les sacrifices qu'elle n'a cessé de m'apporter tout au long de mes années d'études.

A mon mari, pour sa patience et son soutien.

A ma petite princesse ALAA pour ses embêtes et ses étreintes magiques, le fait de savoir qu'elle est là, me donne le courage et la volonté de mener à bien mes travaux.

Nulle dédicace ne pourrait exprimer ma profonde affection et mon immense gratitude à mon adorable sœur KHADIDJA et celui qui m'appelle bahilyati, merci 57312 pour tous les encouragements, les aides et les soutiens qu'ils ont consenti à mon égard.

A mes frères, mes sœurs, mes amis et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

A mon binôme, MERIEM, pour son entente et sa sympathie.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire, ou de l'enseignement supérieur.

SABAH





DEDICACE

*A la source de ma force,
à la source de mon bonheur,
à ma chère Mère.*

A mes chers frères et sœurs.

*A Sabah,
merci d'avoir contribué à mon succès,
merci pour chaque pas
que nous avons franchi ensemble.
à mes professeurs.*

A tous ceux qui m'ont aidé à arriver ici.



MERIEEM

المخلص :

كما هو مطلوب من قبل تطور مجتمعنا ، فإن الطريق يدخل أيضًا عصر التنمية المستدامة .هذا الأخير يتطلب إنشاء أرصفة طويلة العمر ، ولهذا فقد تم تطوير طرق تكوين المخاليط البيتومينية على مر السنين بسبب المشاكل التي تواجهها الطرق تحت ضغوط المرور والظروف المناخية المتغيرة خاصة في البيئة الصحراوية. الموضوع المقترح يهدف الى دراسة صياغة الخرسانة الاسفلتية الموجهة الى الطبقات الاسفلتية باستعمال مجاميع محجرة المنصورية. الدراسة تستحوذ على جزء خاص بمراقبة جودة الخلائط الاسفلتية المنجزة، وذلك من حيث التراصية بعد البدء التشغيل من اجل مقارنة الكثافات النظرية المتحصل عليها اثناء دراسة الخليط مع تلك المتحصل عليها ميدانيا. الكلمات المفتاحية : الخليط الاسفلتي، الاستقرار دوري، الاستقرار مارشال، نسبة الرابط، التراصية .

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 de longue durée de vie, pour cela, des méthodes de formulation des mélanges bitumineux ont été développées au fil des années en raison des problèmes rencontrés par les routes surtout les pressions de la circulation et les conditions climatiques, en particulier dans un environnement désertique.

Le sujet proposé vise l'étude de formulation de béton bitumineux BB 0/14 à chaud destiné aux couches de roulement, en utilisons les granulats du concasseur de Mansouria à Adrar.

L'étude consacre une partie au contrôle de la qualité du béton bitumineux confectionné, et cela en terme de compacité après mise en service, afin de comparer les densités théoriques requises lors de l'étude de la formulation aux celles recueillis sur site.

Mots clés : Formulation - Béton bitumineux - Stabilité Duriez - Stabilité Marshall - Teneur en liant -Compacité.

Abstract:

As imposed by the evolution of our society, the road is also at the time of sustainable development. The latter requires the construction of long life pavements, for that, methods of formulation of bituminous mixtures have been developed over the years because of the problems encountered by roads especially the pressures of traffic and climatic conditions, especially in a desert environment.

The proposed topic is the study of formulation of hot bituminous concrete BB 0/14 for wearing courses, using the aggregates of Mansouria crusher in Adrar.

The study devotes a part to the control of the quality of the made asphalt concrete, and that in term of compactness after setting in service, in order to compare the theoretical densities required at the time of the study of the formulation to those collected on site.

Key words: Formulation - asphalt concrete - Duriez stability - Marshall stability - Binder content -Compactness.

TABLE DES MATIERES :

REMERCIEMENTS	I
RESUME	II
TABLE DES MATIERES	III
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES PHOTOS	VI
INTRODUCTION GENERALE	1
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ROUTES	
I.1 INTRODUCTION	3
I.2 GENERALITES SUR LES ROUTES	3
I.3 LA STRUCTURE DE CHAUSSEE	3
I.3.1 Couche de surface	4
I.3.2 Couche d'assise	5
I.3.3 Couche de forme	6
I.3.4 Le fond de forme	6
I.3.5 L'accotement	6
I.3.6 Le fossé	6
I.4 TYPES DE CHAUSSEES	7
I.4.1. Chaussée rigide	7
I.4.2. Chaussée semi rigide	8
I.4.3. Chaussée souple	8
I.4.4. Chaussée bitumineux épaisse	9
I.4.5. Chaussée à structure mixte	9
I.4.6. Chaussée à structure inverse	9
I.4.7. Chaussée en béton de ciment	10
I.5 TRAFIC	11
I.5.1 Les différentes classes de trafic	11
I.6 TRAVAUX PREPARATOIRES	13
I.6.1 Mesures de protection de la chaussée contre l'eau	14
I.6.2 Réglage en nivellement de l'assise	14
I.6.3 Reprofilage de l'assise	15
I.6.4 Mise en état de propreté de bitume de la surface de l'assise	15
I.6.5 Réalisation des couches d'interfaces	16
I.6.6 La couche d'imprégnation des matériaux non traités	16
I.6.7 La couche de protection (de cure) de l'assise traitée	17
I.6.8 La couche d'accrochage des matériaux bitumineux	18
I.7 EPANDAGE DES ENROBES BITUMINEUX A CHAUD	19
I.7.1 Matériel d'épandage	19
I.7.2 Plan d'épandage	20
I.8 PRE-COMPACTAGE DES ENROBES BITUMINEUX	21
I.9 COMPACTAGE DES ENROBES BITUMINEUX A CHAUD	21
I.10 MATERIEL DE COMPACTAGE	22

I.11 CONCLUSION	24
CHAPITRE II : LES BETONS BITUMINEUX	
II.1. INTRODUCTION	26
II.2. BITUME	26
II.2.1. Fabrication des bitumes	26
II.2.2. Composition chimique	28
II.2.3. Types du bitume	29
II.2.4. Essais de caractérisations des bitumes	31
II.3. GRANULATS	35
II.3.1. Définition	35
II.3.2. Classification des granulats selon la provenance	35
II.3.3. Classification des granulats selon la grosseur	37
II.3.4. Caractéristiques et spécifications des granulats	37
II.4. BETON BITUMINEUX	40
II.4.1. Définition	40
II.4.2. Caractéristiques des enrobes bitumineux	40
II.4.3. Les différents types d'enrobes	41
II.4.4. Etude de formulation	46
II.4.5. Les essais sur les enrobés bitumineux	49
II.5. Conclusion	52
ETUDE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE III : FORMULATION DE BETON BITUMINEUX	
III.1 INTRODUCTION	54
III.2 CARACTERISTIQUES DES AGREGATS UTILISES	54
III.2.1 Masse volumique (NFP18-301)	54
III.2.2 Analyse granulométrique (NFP 18-560) 6	56
III.2.3 Équivalent du sable (NF EN 933-8+A1 2015)	58
III.2.4 Propreté superficielle (NFP 18-591)	59
III.2.5 Aplatissement (NF P18-561)	60
III.2.6 Los Angeles (NFP 18-573)	62
III.2.7 Micro-Deval en présence d'eau MDE ; (NA 5129 EN 1097 – 1)	63
III.3 FILLERS D'APPORT	64
III.4 CARACTERISTIQUES DU BITUME UTILISE	64
III.5 DESCRIPTION DES MELANGES ETUDIES	67
III.5.1 Détermination des mélanges à étudier	69
III.5.2 Détermination des teneurs en bitume	71
III.6 RESULTATS DES ESSAIS Marshall et Duriez	72
III.7 CONCLUSION	77
CHAPITRE IV : CONTROLE DE BETON BITUMINEUX	
IV.1 INTRODUCTION	79
IV.2 CONTROLE DE FONCTIONNEMENT DE POSTE D'ENROBAGE	79
IV.3 CONTROLE DE CONFORMITE DES MATERIAUX ET LA VALIDATION DE LA FORMULATION	81
IV.4 CONTROLE DE PROCEDE DE FABRICATION ET QUALITE D'ENROBE	81
IV.4.1 Vérifications aux thermomètres	82

IV.4.2 Essai d'extraction au Kumagawa	83
IV.5 CONTROLE DE CONFORMITE DU MATERIAU (ENROBE) COMPACTE	85
IV.5.1 Réalisation du carottage	85
IV.5.2 Mesure de la compacité	86
IV.6 RESULTATS DE CONTROLE	87
IV.6.1 Etalonnage du poste	87
IV.6.2 Essai d'extraction au Kumagawa	89
IV.6.3 Mesure de la compacité	90
IV.7 CONCLUSION	91
CONCLUSION GENERALE	92
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	93
ANNEXES	95

LISTE DES FIGURES :

Figure I. 1	Structure de la chaussée	3
Figure I. 2	Profil en travers type d'une route	7
Figure I. 3	Structure type d'une chaussée rigide	7
Figure I. 4	Structure d'une chaussée semi-rigide	8
Figure I. 5	Structure type d'une chaussée	8
Figure I. 6	Structure d'une Chaussée bitumineux épaisse	9
Figure I. 7	Chaussée à structure mixte	9
Figure I. 8	Chaussée à structure inverse	10
Figure I. 9	Chaussées en béton de ciment	10
Figure I. 10	Dalles en béton de ciment mince collé	10
Figure I. 11	Schéma de principe illustrant les agressivités respectives - vis-à-vis de la chaussée - d'un véhicule léger et d'un poids lourd	11
Figure I. 12	Classification du trafic	12
Figure I. 13	Coupe d'un type de chaussée routière	13
Figure I. 14	Finisseur enrobé	20
Figure I. 15	Niveleuse	20
Figure I. 16	Actions de compacteurs	23
Figure I. 17	Compacteur pneumatique.	23
Figure I. 18	Compacteur à cylindre lisse.	23
Figure I.19	Billonneuse	24
Figure I.20	Plaque vibrante	24
Figure I. 21	Petits rouleaux de largeur adaptée	24
Figure II. 1	Séparation d'un bitume en asphaltènes, résines et huiles.	29
Figure II. 2	Principe d'essai de pénétrabilité à l'aiguille.	31
Figure II. 3	Principe d'essai de point de ramollissement bille et anneau.	32
Figure II. 4	Principe de densité relative.	33
Figure II. 5	Différents types de granulats.	36
Figure II. 6	Chantier de concassage des granulats.	36
Figure II. 7	Mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite dans le fuseau.	47

Figure II. 8	Principe de l'essai Marshall.	50
Figure II. 9	Principe de l'essai Duriez.	51
Figure III.1	Courbes granulométriques des classes 0/3 ;3/8 et 8 /15.	58
Figure III.2	Dimensions d'un granulat	61
Figure III.3	Courbe du fuseau de spécification 0/14	68
Figure III.4	Composition du mélange granulaire	69
Figure III.5	Position de la courbe granulométrique du mélange granulaire par rapport au fuseau 0/14	71
Figure III.6	Etapes de préparation d'éprouvettes pour essai Marshall.	73
Figure III.7	Etapes de préparation et conservation d'éprouvettes pour essai Duriez.	74
Figure IV.1	Courbe granulométrique du premier prélèvement et sa position par rapport au fuseau	88
Figure IV.2	Courbe granulométrique du deuxième prélèvement et sa position par rapport au fuseau	88

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I. 1	Liants utilisés en couche d'imprégnation et dosages préconisés	16
Tableau I. 2	Dosage pour couche de protection	17
Tableau I. 3	Dosage pour couche d'accrochage	18
Tableau II. 1	Composition élémentaire chimique des bitumes .	28
Tableau II. 2	Spécifications Françaises des bitumes purs.	34
Tableau II. 3	Épaisseurs d'utilisation par couche (NF P 98-132).	43
Tableau II. 4	Épaisseurs d'utilisation par couche (NF P98-137).	44
Tableau II.5	Épaisseurs d'utilisation par couche (NF P 98134)	45
Tableau III.1	Résultats de la masse volumique (absolue et apparente)	56
Tableau III. 2	Résultats de l'essai d'analyse granulométrique	57
Tableau III.3	Résultats d'équivalent de sable (sable concassé 0/3)	59
Tableau III.4	Résultats de l'essai de la propreté superficielle	60
Tableau III.5	Résultats du coefficient d'aplatissement des graviers utilisés.	61
Tableau III.6	Résultats d'essais Los Angeles et Micro-Deval	64
Tableau III.7	Résultat d'essai de pénétrabilité à l'aiguille	65
Tableau III.8	Résultat d'essai du point de ramollissement	66
Tableau III.9	Résultat de l'essai de densité relative.	67
Tableau III.10	Fuseau de spécifications 0/14	68
Tableau III.11	Pourcentages des agrégats utilisés.	70
Tableau III.12	Teneurs en bitume	72
Tableau III.13	Résultats d'essai Marshall.	75
Tableau III.14	Résultats d'essai Duriez.	76
Tableau IV.1	Résultats d'essai d'extraction au Kumagawa	89
Tableau IV.2	Résultats de compacité	90

LISTE DES PHOTOS :

Photo III.1	Masse volumique absolue	55
Photo III.2	Etapes de détermination de la masse volumique apparente	56
Photo III.3	Appareillage de l'essai d'analyse granulométrique	57
Photo III.4	Essai d'équivalent de sable	59
Photo III.5	Grille pour essai d'aplatissement	61
Photo III.6	Equipement spécifique de l'essai Los Angeles.	62
Photo III.7	Equipement spécifique de l'essai Micro-Deval	63
Photo III.8	Essai de pénétrabilité à l'aiguille	65
Photo III.9	Matériels et étapes de l'essai du Point de ramollissement.	66
Photo III.10	Matériels et étapes de déroulement de l'essai de densité relative sur bitume.	67
Photo IV.1	Poste d'enrobage.	79
Photo IV.2	Prélèvements des agrégats mélangés.	80
Photo IV.3	Température de bitume.	82
Photo IV.4	Température de l'enrobé fabriqué.	82
Photo IV.5	le solvant utilisé pour l'essai d'extraction Kumagawa.	84
Photo IV.6	Etapes de l'essai Kumagawa.	84
Photo IV.7	Etapes de réalisation du carottage.	86
Photo IV.8	Etapes de pesée hydrostatique	87

LISTE DES SYMBOLES

LTPS	Laboratoire des Travaux Publics du Sud (unité d'Adrar).
CTTP	Organisme national de contrôle technique des travaux publics
BB	Béton Bitumineux.
TL	Teneur en bitume.
K	Module de richesse.
Σ	Surface spécifique (m ² /g).
R	Résistance à la compression sans immersion à 18°C (Kg/cm ²).
r	Résistance à la compression avec immersion à 18°C (Kg/cm ²).
P ₁	Poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'air (g).
P ₂	Poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'eau (g).
P _b	Pourcentage en poids du bitume (%).
γ_{app}	Densité apparente de l'éprouvette
γ_b	Densité du bitume.
γ_{abs}	Densité absolue du matériau enrobé (g/cm ³).
V _v	Pourcentage volumétrique des vides de l'éprouvette (%).
γ_s	Masse volumique absolue des agrégats (g/cm ³).
γ_a	Masse volumique apparente des agrégats
ES	Equivalent de sable (%).
γ_G	Densité de l'agrégat.
Pl	Poids lourd

INTRODUCTION GENERALE :

Les chaussées en enrobé bitumineux sont le type le plus utilisé en Algérie, grâce à sa particularité en tant qu'un pays producteur du pétrole donc les produits hydrocarbonés revient à prix raisonnable pour réaliser les routes.

La qualité des chaussées est la préoccupation des gestionnaires des routes, en effet, vu le manque de coordination entre l'étude et la réalisation des chaussées, la mauvaise exécution, le mauvais contrôle ou tout compris sur la qualité de la mise en œuvre des matériaux par les entreprises qui réalisent nos routes, ces dernières affectées négativement par des dégradations précoces au niveau des couches de roulement en enrobés bitumineux.

Pour cela, les routes doivent être l'objet d'une attention particulière par des contrôles et du suivi à partir de la phase d'identifications des matériaux jusqu'à mise en service des chaussées réalisées.

Dans ce travail, nous allons mener une étude de formulation d'un béton bitumineux semi grenu 0/14 en utilisant des agrégats provenant de Mansouria, région d'Adrar suivi d'un contrôle de la confection de l'enrobé bitumineux au poste d'enrobage ainsi que la compacité de la couche de roulement après sa mise en œuvre.

Ce travail s'articule autour d'une partie bibliographique composée de deux chapitres:

Dans le premier chapitre on présente des généralités sur les chaussées et leurs structures.

Le deuxième chapitre est consacré à une revue bibliographique sur le béton bitumineux et ses constituants ainsi que des essais d'identification des matériaux suivi d'une étude théorique de la formulation proprement dit d'enrobé bitumineux.

Ensuite une partie expérimentale qui se compose aussi de deux chapitres :

Le troisième chapitre étudie les caractéristiques des agrégats et le bitume utilisé ainsi que la concrétisation de la formulation au laboratoire suivi d'essais de performances sur le mélange à savoir l'essai Duriez et Marshall.

Le dernier chapitre a été attribué au contrôle de la compacité par carottage, la mise en œuvre ainsi que la vérification de la teneur en liant, et cela par des essais in situ et au laboratoire.

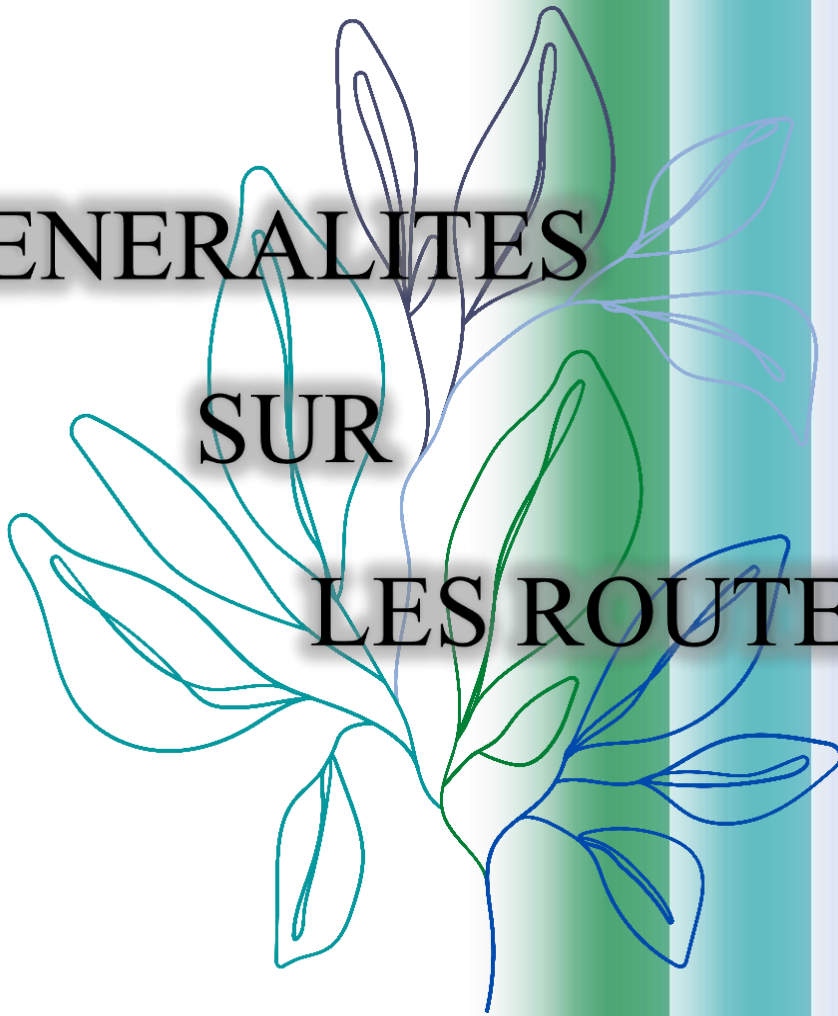
En fin ce document s'achèvera par une conclusion suivie des références bibliographiques et des annexes.

CHAPITRE I

GENERALITES

SUR

LES ROUTES



I.1 INTRODUCTION

Chaque type d'enrobé est défini selon la nature et le dosage de ses composants, par ses performances particulières et aussi selon la couche de la chaussée à laquelle il est destiné.

Ce premier chapitre est principalement consacré pour présenter des généralités sur les chaussées et leurs structures

Afin d'introduire le contexte de notre étude, on commencera par décrire la structure de chaussée ainsi que les rôles de chaque élément de cette structure, on s'intéressera aussi de la mise en œuvre des chaussées routières.

I.2 GENERALITES SUR LES ROUTES

Le mot route vient du mot latin « via rupta » qui signifie « voie frayée » c'est donc une voie de communication terrestre permettant de relier un point à un autre, un village à un autre. Nous allons également définir la route moderne comme étant un espace correctement aménagé pour recevoir un ou plusieurs courants de circulation construite dans le respect des règles d'art [1].

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 [1].

Elle est constituée d'une superposition de couches de matériaux différents dont l'ensemble est appelé superstructure qui se compose de plusieurs couches et reposant sur une infrastructure. Dans l'infrastructure nous avons le sol de plate-forme et une couche de forme en cas de remblai [1].

I.3 LA STRUCTURE DE CHAUSSEE

Une chaussée routière se présente comme une structure composite réalisée par empilements successifs de couches de matériaux granulaires, le tout reposant sur un sol support [2].

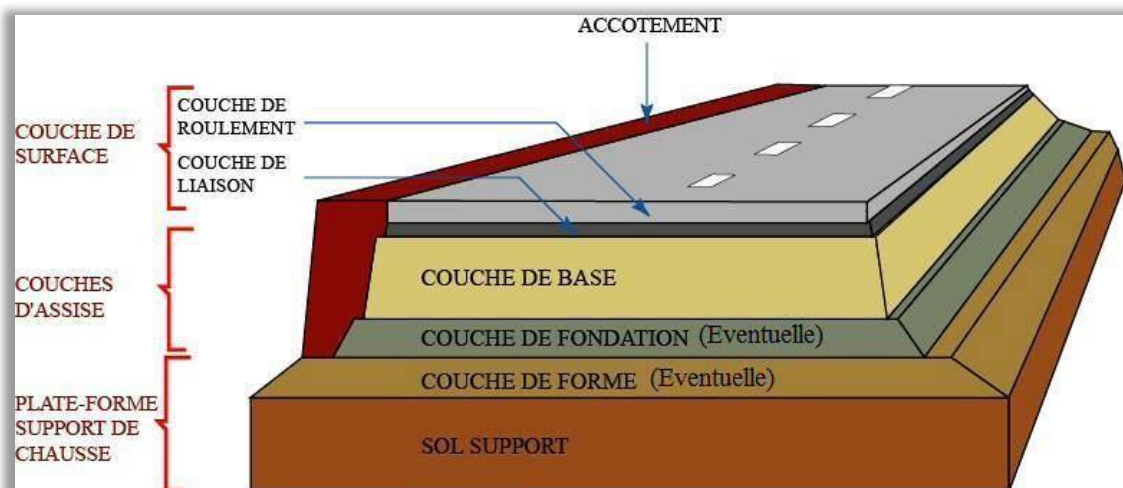


Figure I. 1 : structure de la chaussée.

I.3.1 Couche de surface

I.3.1.1. Couche de roulement

Couche de roulement c'est la couche supérieure de la structure routière sur laquelle s'exerce directement les agressions conjuguées du trafic et du climat, elle assure le contact avec les pneumatiques [3]. Ses rôles sont les suivants :

- **La sécurité**

La couche de roulement doit posséder de bonnes propriétés antidérapantes, c'est-à-dire une bonne rugosité. Cette rugosité doit être d'autant meilleure que la vitesse est élevée [4].

- **Le confort**

Le confort pour un usager, consiste, en particulier, à ne pas ressentir dans son véhicule de secousses brutales ou de vibrations excessives. Deux facteurs principaux conditionnent ce confort : la suspension des véhicules d'une part, l'uni de la chaussée d'autre part, le mauvais uni pouvant d'ailleurs entraîner une perte d'adhérence ou rendre la chaussée trop bruyante [4].

- **Participation à la structure**

Il intéresse plus particulièrement l'ingénieur routier car :

- La couche de roulement subit directement les agressions du trafic et celles liées aux conditions climatiques ;
- Elle doit également faire obstacle à la pénétration d'eau dans les assises de chaussées qui peut entraîner la destruction de la liaison entre couches à l'interface base / roulement et même désorganiser la couche de base elle-même [4].

La couche de roulement doit, de plus, assurer ces différents rôles de manière durable.

Sa qualité doit donc rester convenable, malgré les répétitions des sollicitations entre les renouvellements intervenant au titre de l'entretien.

Il existe un très grand nombre de types de produits utilisés en couche de roulement,

ils peuvent être classés comme suit [4] :

- RS (ES) : Revêtement (Enduit) Superficiel.
- ECF : Enrobé Coulé à Froid.
- EF : Enrobé à Froid.
- EB (BB) : Enrobé (Béton) Bitumineux.
- BBME : Béton Bitumineux à Module Elevé.
- BBTM : Béton Bitumineux Très Mince.
- BBDr : Béton Bitumineux Drainant.
- Revêtement en béton de ciment.

I.3.1.2. Couche 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 [5].

I.3.2 Couche d'assise

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base.

I.3.2.1. Couche de base

C'est la couche située sous la couche de surface assurant une protection thermique de la plate-forme (couche de forme) et assure une capacité portante du revêtement. Elle est destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales vers les couches inférieures [3].

I.3.2.2. Couche de fondation

C'est la couche située sous la couche de base, destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales sur le sol de fondation et à former le support du revêtement. Elle assure ensemble avec la couche de base la protection thermique de la plate-forme [3].

Ces couches sont en matériaux élaborés, le plus souvent en matériaux liés pour les chaussées à trafic élevé, les points suivants présentent leurs rôles :

- Elles apportent à la chaussée la résistance mécanique, pour résister aux charges verticales induites par le trafic,
 - Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations, à ce niveau, dans des limites admissibles.
- **Lors de la construction de la chaussée**
- Elles fournissent un support bien nivelé pour la couche de surface.
 - Elles fournissent également un support de portance suffisante pour le compactage de la couche de surface.
 - Elles peuvent servir provisoirement de couche de roulement (renforcement sous circulation, et/ou circulation de chantier).
- **Lorsque la chaussée est construite**
- Elles assurent un rôle thermique, car les assises doivent protéger le sol support de la pénétration du gel.
 - La couche de base, plus proche de la surface de la chaussée, subit des contraintes et des déformations notables ; il est donc nécessaire qu'elle présente des caractéristiques mécaniques assez élevées.

Quant à la couche de fondation, les contraintes et les déformations auxquelles elle est soumise conduisent à un niveau de qualité mécanique moindre que celui de la couche de base [4].

Il existe une variété de matériaux rentrant dans l'élaboration dans des couches de fondations et de bases :

- Les graves non traitées (GNT).
- Les graves traitées aux liants hydrauliques.
- Les graves traitées aux liants hydrocarbonés.

I.3.3 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 [3].

Caractéristiques de couche de forme

a) **A court terme**, pendant la phase des travaux, la couche de forme doit présenter des caractéristiques minimales [4] :

- De traficabilité, pour assurer, pendant la saison prévue pour l'exécution des travaux de chaussée, la circulation des engins approvisionnant les matériaux de l'assise,
- De nivellement pour garantir la régularité de l'épaisseur des couches et l'uni de la chaussée terminée,
- De déformabilité pour permettre le compactage correct des couches de chaussée,
- De résistance vis-à-vis du gel si nécessaire.

b) **A long terme**, pendant l'exploitation de l'ouvrage les fonctions se rapportent au comportement de la chaussée en service, à savoir :

- L'homogénéisation de la portance,
- Le maintien dans le temps d'une portance minimale de la plateforme,
- Contribution au drainage de la chaussée.

I.3.4 Le fond de forme

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 [3].

I.3.5 L'accotement

Il s'agit d'une barre latérale non goudronnée destinée aux piétons et parfois au stationnement d'urgence

I.3.6 Le fossé

C'est un canal attaché à la route qui s'étend le long des côtés de la route (en cas d'excavation), il est destiné à drainer les eaux des surfaces.

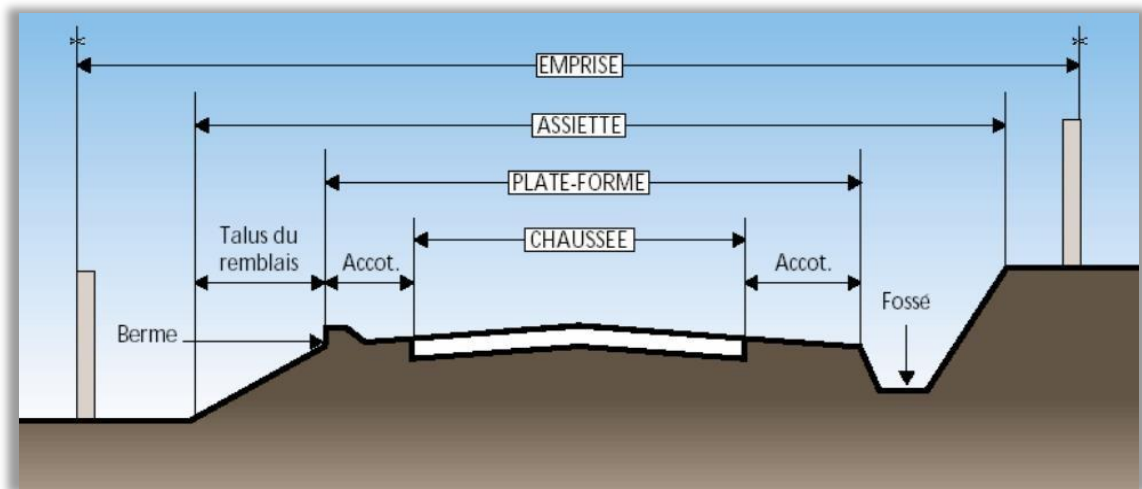


Figure I. 2: Profil en travers type d'une route

I.4 TYPES DE CHAUSSEES

I.4.1. Chaussée rigide

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide. En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol, les couches suivantes :

- une couche de forme,
- une couche de fondation,
- une couche de roulement en béton de ciment.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la couche de fondation n'est pas nécessaire. La dalle en béton de ciment peut ainsi être réalisée directement sur l'arase terrassement ou sur la plate-forme support de chaussée (Figure I. 3).

Dans la chaussée rigide, la couche de surface et la couche de base sont confondues [6].

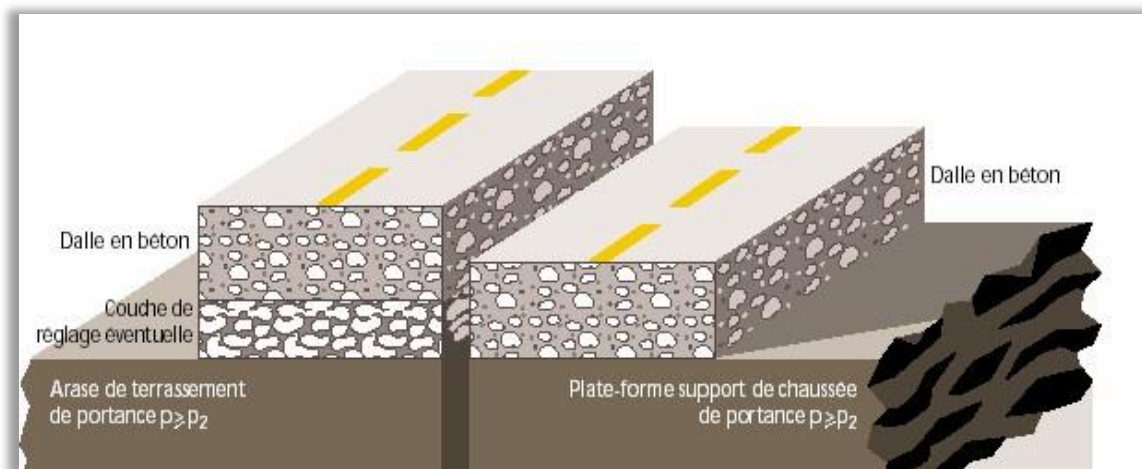


Figure I. 3: Structure type d'une chaussée rigide

I.4.2. Chaussée semi rigide

Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation) (Figure I. 4) [6].

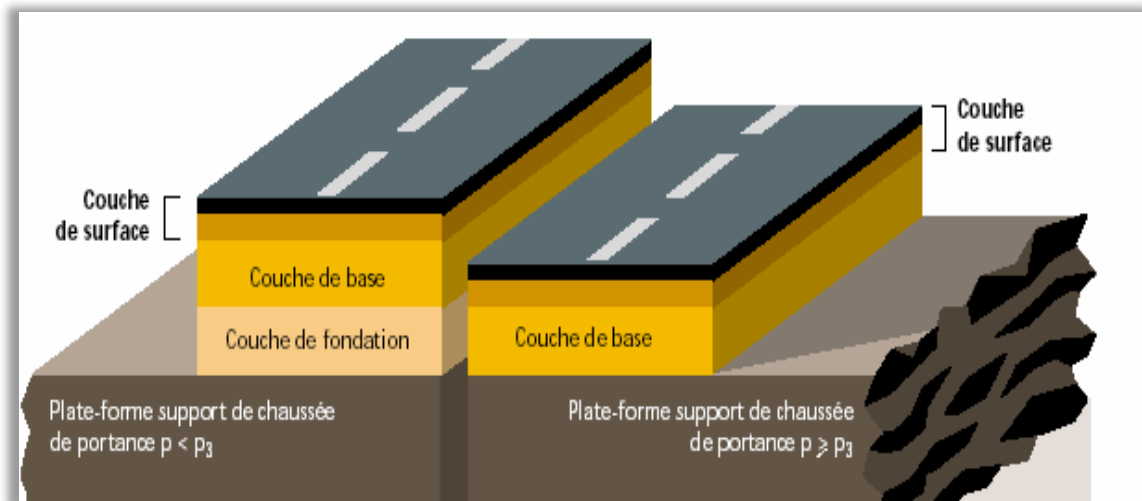


Figure I. 4: Structure d'une chaussée semi-rigide

I.4.3. Chaussée souple

C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent, sont traitées aux liants hydrocarbonés (Figure I. 5). La couche de fondation et/ ou la couche de base peuvent être constituées de grave non traitée [6].

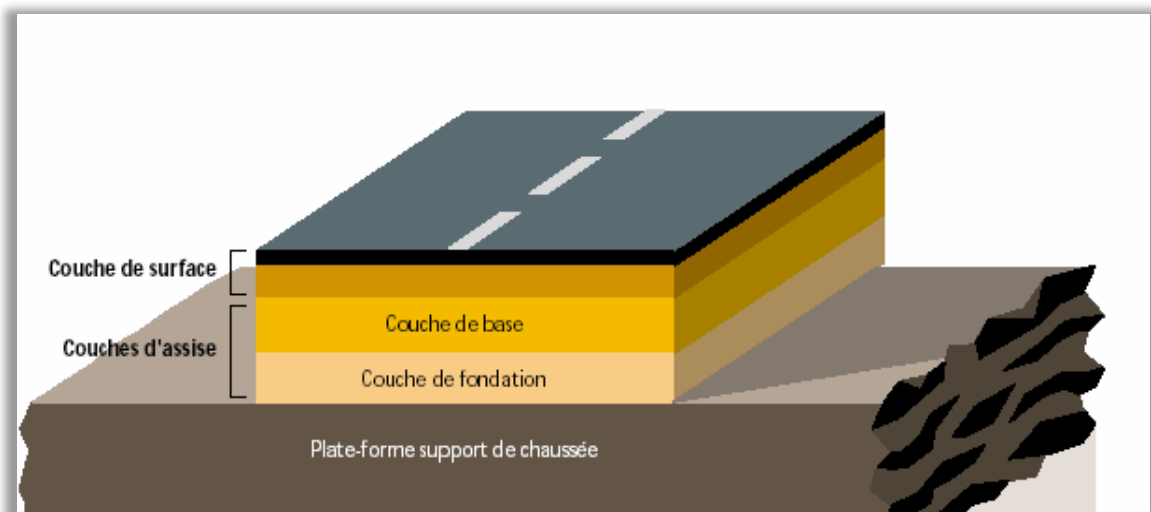


Figure I. 5 : Structure type d'une chaussée souple

I.4.4. Chaussée bitumineux épaisse

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés (Figure I. 6), fait d'une ou deux couches (base et fondation).

L'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm [7].

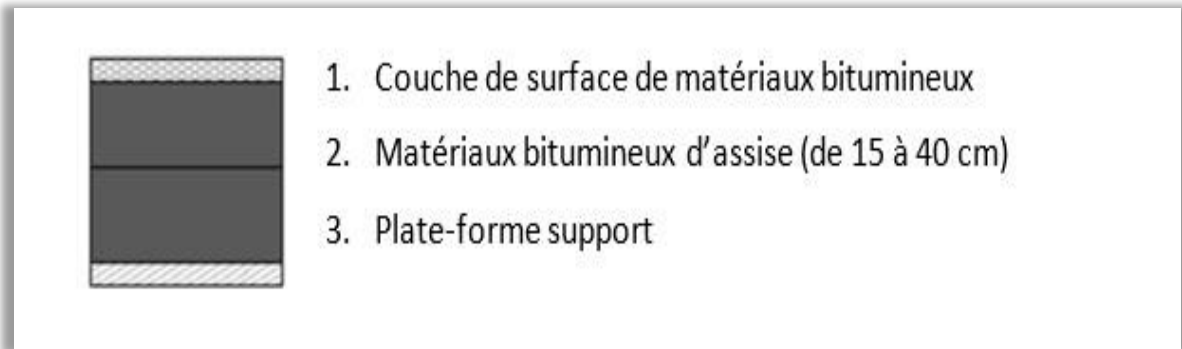


Figure I. 6 : Structure d'une Chaussée bitumineux épaisse

I.4.5. Chaussée a structure mixte

Ces structures comportent une couche de roulement et une couche de base en matériaux bitumineux (épaisseur de la base : 10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). Les structures qualifiées de mixtes sont telles que le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de chaussée soit de l'ordre de 1/2 [7].

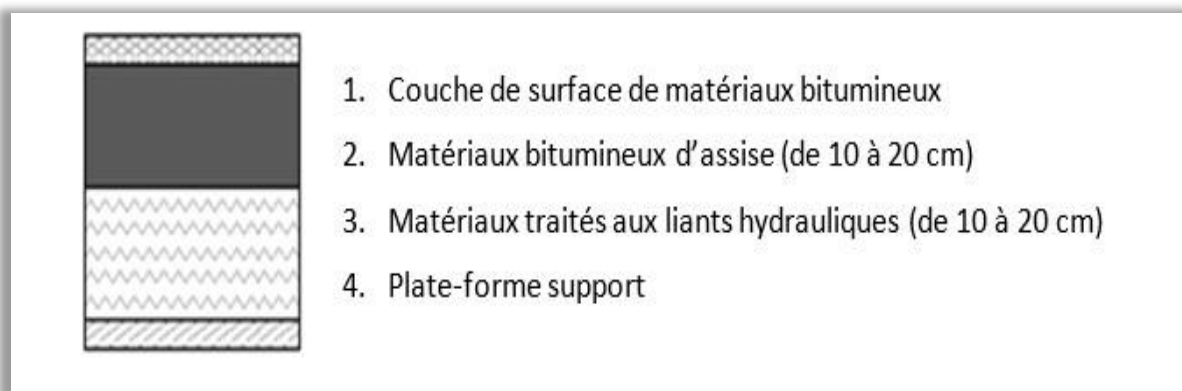


Figure I. 7 : Chaussée à structure mixte

I.4.6. Chaussée a structure inverse

Ces structures sont formées de couches bitumineuses, d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur totale, sur une couche de grave non traitée (environ 12 cm) reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'épaisseur totale atteint 60 à 80 cm [7].

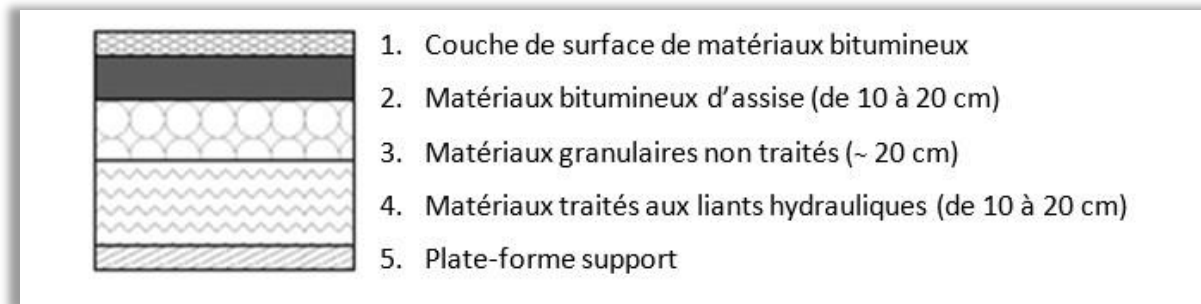


Figure I. 8 : Chaussée à structure inverse

I.4.7. Chaussée en béton de ciment

Ces structures comportent une couche de béton de ciment de 15 à 40 cm d'épaisseur qui sert de couche de roulement éventuellement recouverte d'une couche mince en matériaux bitumineux.

La couche de béton repose soit sur une couche de fondation (en matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton de ciment), soit sur une couche drainante en grave non traitée, soit sur une couche d'enrobé reposant elle-même sur une couche de forme traitée aux liants hydrauliques.

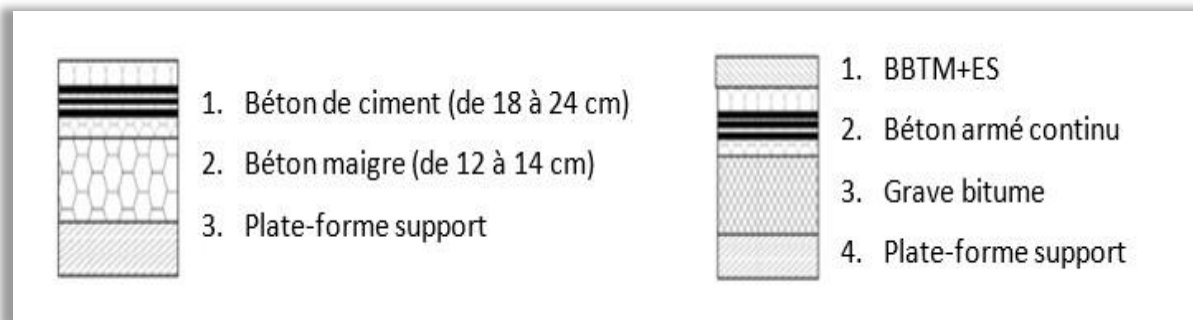


Figure I. 9: Chaussées en béton de ciment

La dalle de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal (béton armé continu), ou discontinue avec ou sans élément de liaison aux joints. Ci-dessous nous présentons les structures de chaussée en béton de ciment [7].

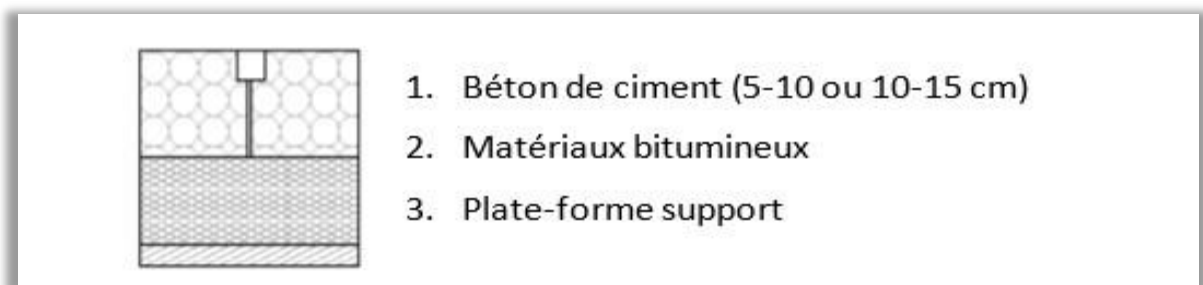


Figure I. 10 : Dalles en béton de ciment mince collé

I.5 TRAFIC

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées.

Le poids des véhicules est transmis à la chaussée, sous forme de pressions, par l'intermédiaire des pneumatiques.

Pour une automobile, cette pression est de l'ordre de 0,2 MPa, mais, elle est de l'ordre de 0,66 MPa sous une roue de camion (Figure I. 6) [6].

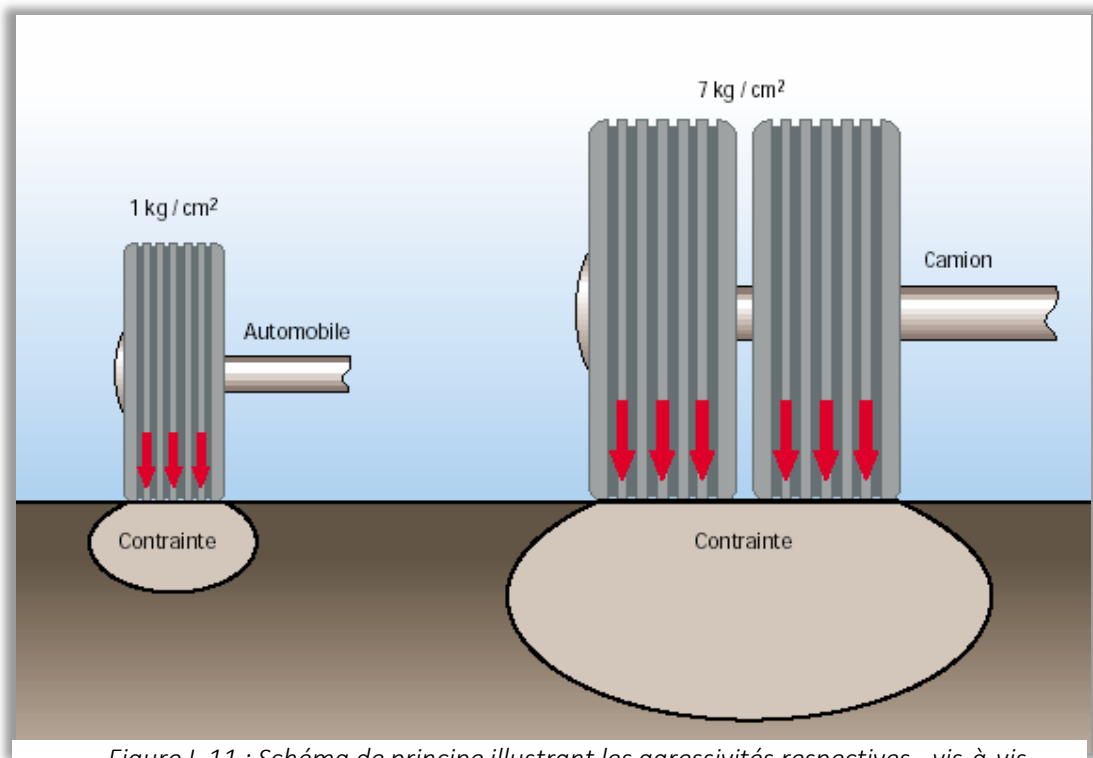


Figure I. 11 : Schéma de principe illustrant les agressivités respectives - vis-à-vis de la chaussée - d'un véhicule léger et d'un poids lourd

Les matériaux situés sous les roues subissent des efforts très différents lorsque passe une voiture ou lorsque passe un camion. Seul ce dernier est pris en compte pour déterminer les classes de trafic [6].

I.5.1 Différentes classes de trafic

Les classes de trafic sont définies par le trafic moyen journalier des poids lourds PL (charge utile supérieure à 5 T) qui circulent sur la chaussée (Tableau I.1), [6]

Tableau I. 1 : Classification du trafic selon le « SETRA » [8]

Classe	t6	t5	t4	t3-	t3+	T3	T2	T1	T0
PL/j	De 0 à 10	De 10 à 25	De 25 à 50	De 50 à 100	De 100 à 150	De 50 à 150	De 150 à 300	De 300 à 750	De 750 à 2 000

Ces classes de trafic définissent deux grandes catégories de routes (Figure I.12) :

- Les voiries à faible trafic regroupant toutes les classes de t6 à t3+,
- Les voiries à moyen et forts trafics regroupant toutes les classes de T3 à T0.

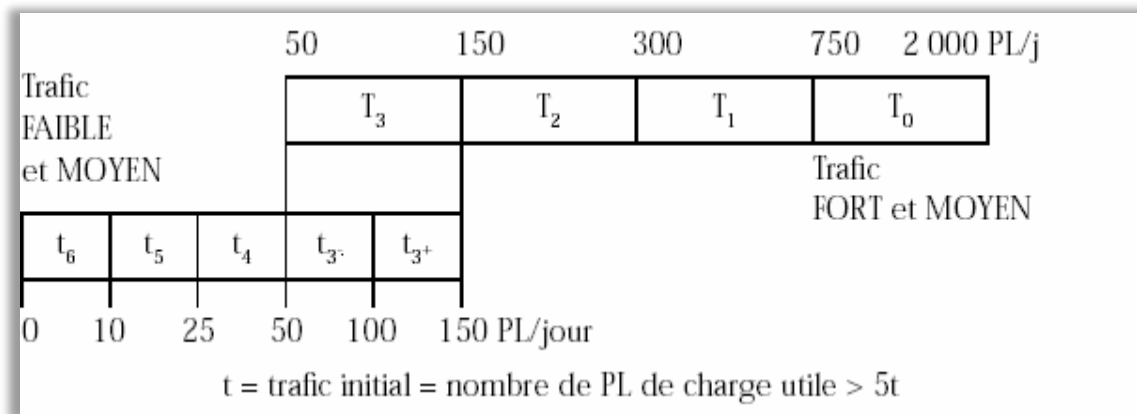


Figure I. 12 : Classification du trafic.

NOTA : En matière de trafic, le nouveau Catalogue des Structures de Chaussées Neuves (SETRA – LCPC – 1998) apporte deux modifications importantes, [6] :

- La première concerne la définition du « poids lourd » qui devient « un poids lourd est un véhicule de plus de 3,5 t de Poids Total Autorisé en Charge (PTAC) ». Toutefois, une relation - valable uniquement en rase campagne - permet de transformer les données exprimées en véhicules de plus de 5 t de charge utile (C.U.) en nombre de véhicules de plus de 3,5 t de Poids Total Autorisé en Charge :

$$N(\text{PTAC}) = 1,25 \times N(\text{C.U.}).$$

- La deuxième modification concerne la classification du trafic. Désormais, les classes de trafic sont exprimées en nombre de poids lourds cumulé pendant la durée initiale de dimensionnement (20 ou 30 ans).

- 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).

I.6 TRAVAUX PREPARATOIRES

Avant de procéder aux travaux d'épandage et de compactage des enrobés bitumineux à chaud sur une chaussée, il est impératif d'exécuter, préalablement et obligatoirement, tous les travaux préparatoires de son assise de chaussée, il faut sous-entendre [5] :

- Dans le cas d'une chaussée neuve l'ensemble des couches de fondation et de base (Figure I.13).

- Dans le cas d'un renforcement : l'ensemble des couches existantes + une éventuelle couche de renforcement en grave – bitume (couche de base).

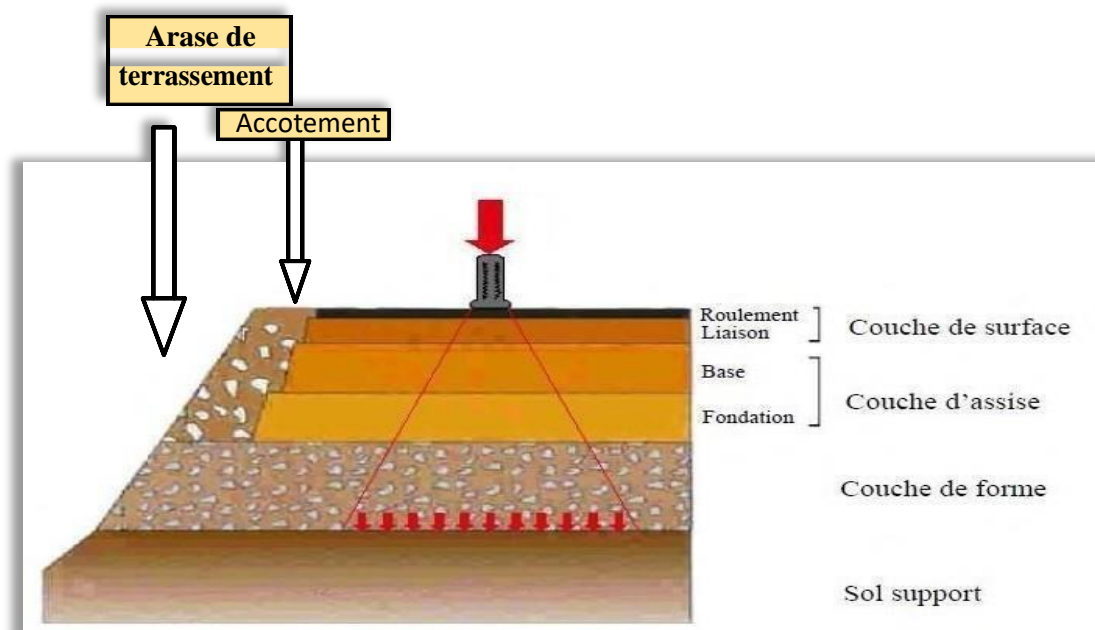


Figure I. 13 : Coupe d'un type de chaussée routière [5]

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

- La protection de la chaussée contre l'eau.
- Le réglage en nivellement de l'assise.

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

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

I.6.1 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 que l'eau qui ruisselle sera évacuée par les ouvrages d'assainissement. La présence d'eau dans le corps de chaussée est nuisible, elle diminue sa portance afin de l'évacuer, il est 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.

I.6.2 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, en nivellement, s'effectue 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. Le nivellement par rapport à des ouvrages liés à la chaussée est réservé, quant à lui, aux rectifications des profils en travers, l'axe ou le rebord de la chaussée existante) et à des zones urbaines ou singulières, le contrôle du nivellement peut être manuel (par levés topographique ponctuels) ou automatique (par levés en continu). Pour la réussite du nivellement, il est recommandé d'effectuer un piquetage avant la réalisation des couches d'enrobés bitumineux.

Le piquetage consiste à reporter, sur le terrain, les positions des ouvrages rotés, par le plan général d'implantation, au moyen de piquets numérotés, solidement fixés au sol, dont les têtes sont recordées en plan et en altitude aux repères fixes, il n'est pas exécuté de décapage général si la couche de matériaux est exécutée par référence [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 inférieure ou égale à 10 mètres. En l'absence de référence fixe continue, un piquetage de rive est réalisé, pour indiquer l'épaisseur à mettre en œuvre.

I.6.3 Reprofilage de l'assise

Dans le cas où 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, il est recommandé 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 à 10 tonnes/100 mètres, rectification de déverse, etc.).
 - L'application de matériaux doit intervenir au plus tôt et être suivie d'un reprofilage soigné, pour obtenir une stabilité effective de ces matériaux lors de la pose de la couche définitive. Le compactage se fait en commençant par la partie où l'épaisseur est la plus faible.

I.6.4 Mise en état de propreté de bitume de la surface de l'assise

Concernant la mise en état de la surface de l'assise, il est recommandé 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).

I.6.5 Réalisation des couches d'interfaces

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

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

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

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

I.6.6 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 cavités de la couche préalablement compacté, 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). Pour les couches imprégnées, il est recommandé le traitement 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. 2).

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

Condition de mise 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 de 0.7 à 1 kg/ m ²
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 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 faible viscosité et sa lente vitesse de rupture facilitent sa pénétration dans le grave. Lorsque le support est constitué d'une grave non traitée courante, le traitement s'effectue à

des dosages variant de 2 à 2,5 kg/m².

- Dans certaines graves, malgré la lenteur de la rupture, il arrive que la pénétration soit insuffisante (surface fermée) ; il faut alors diminuer la viscosité en diluant l'émulsion. L'apport d'eau se fait généralement, sur chantier.

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

- Au moment de l'imprégnation, il faut que la chaussée soit sèche. Toutefois, une légère humidité rémanente dans les canaux favorise l'imprégnation.

- Il y a lieu, aussi, de permettre l'évaporation du solvant pétrolier avant la mise en place du béton bitumineux.

- Il est conseillé de ne pas imprégner en plusieurs fois, car le film de liant qui se forme à la première imprégnation risque d'empêcher la pénétration de la seconde.

I.6.7 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 (Tableau I.3). Les recommandations liées à la couche de cure sont les suivantes, [5] :

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

Tableau 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)

▶ Le support de la couche de protection doit être propre. Ceci peut nécessiter un prudent, mais efficace, balayage des couches en graves et un cloutage des couches en sables traités (10 litres/m² de gros gravillons, 12/20 par exemple, légèrement compactés).

▶ La stabilité des graves traitées aux liants hydrauliques et le développement de la prise sont très sensibles aux excès d'eau et à la dessiccation. Tant que la couche de protection

n'est pas réalisée et en cas de risque de dessiccation (intervenant pendant la mise en œuvre), un arrosage modéré (mais fréquent et régulier), à la rampe fine, peut être nécessaire.

► Si la mise en place de la couche de roulement est différée ou les conditions atmosphériques sont défavorables ou la couche doit supporter une circulation de chantier, il faudra une protection plus importante. C'est, alors, un enduit superficiel (monocouche ou bicouche) qu'il faudra réaliser, suivant l'importance du trafic.

I.6.8 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 (Tableau I.4). Les recommandations liées à la couche d'accrochage sont les suivantes, [5] :

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

Tableau 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.7 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, [5] :

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

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

I.7.1 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'autres types d'engins tels que les niveleuses (Figure I.9), 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, [5] :

- 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. 14 : 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.



Figure I.15 : Niveleuse

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.

I.7.2 Plan d'épandage

- L'établissement du plan d'épandage, [5] :

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

- Limiter la longueur totale des joints (longitudinaux et transversaux)
- Limiter au maximum les zones pour lesquelles il faut recourir à une mise en œuvre

manuelle ou à l'aide d'un petit finisseur,

- Conserver les caractéristiques et les qualités générales de la couche mise en œuvre
- La position de joints longitudinaux :

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

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

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

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

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

I.8 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.9 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 ses caractéristiques.
- Le domaine d'utilisation des compacteurs.
- Les actions à mener au titre des paramètres influençant le compactage.
- Les types d'atelier de compactage.

I.10 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.16 présente l'action assurée par chaque type de compacteur usuellement utilisé le compactage enrobé bitumineux.

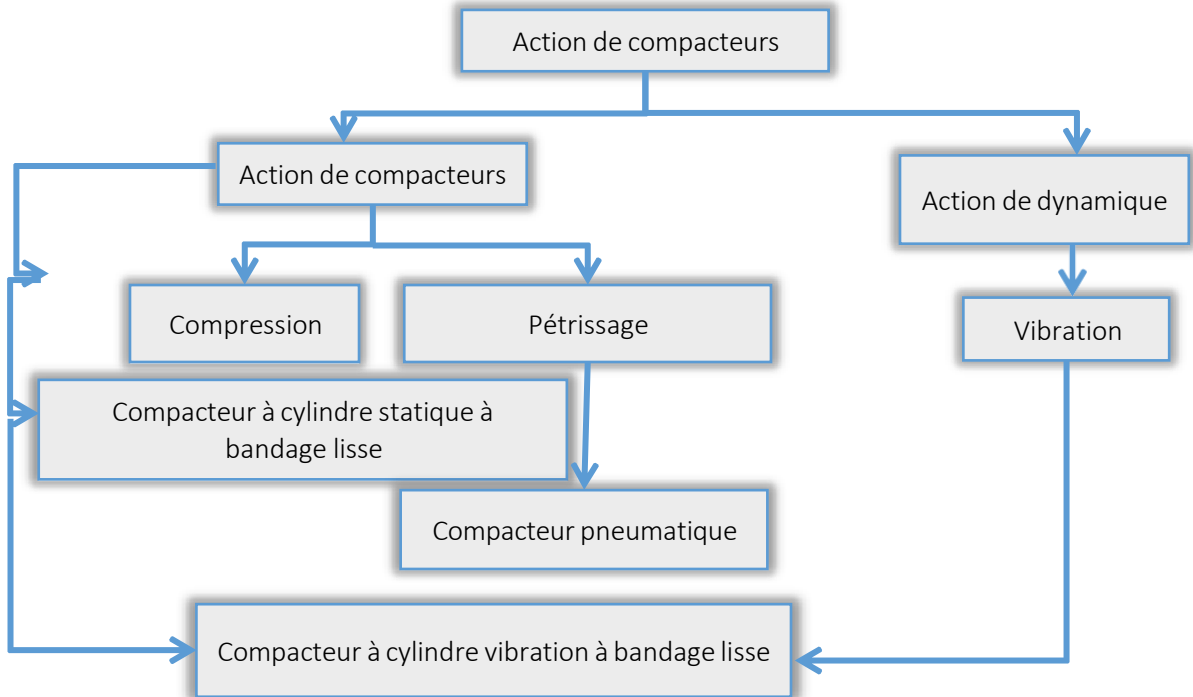


Figure I. 16: Actions de compacteurs

D'autres types de compacteurs tels que le compacteur mixte (pneumatique (Figure I.17) + cylindre lisse (Figure I. 18)) existant sur nos chantiers mais ne peuvent être utilisés qu'au niveau des travaux de terrassement.



Figure I. 17 :
Compacteur



Figure I.18 : Compacteur à
cylindre lisse.

Pour les zones difficilement accessibles ou de dimensions limitées, le compactage peut être réalisé à l'aide de billonneuse (Figure I.19), plaque vibrante (Figure I.20), ou petits rouleaux de largeur adaptée (Figure I.21).



Figure I.19 : Billonneuse



Figure I.20 : Plaque

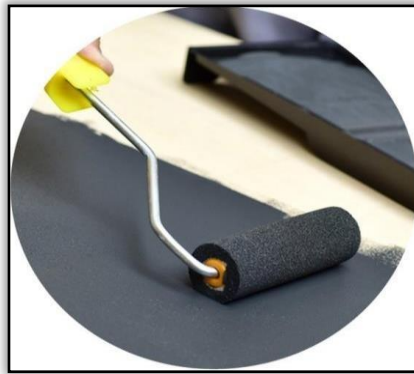


Figure I. 21: Petits rouleaux de largeur adaptée

I.11 CONCLUSION

D'après les paragraphes analysés précédemment on peut dire que :

La chaussée constitue un écran entre le véhicule et le sol, qui aura pour but de répartir les charges sur une plus grande surface et de réduire ainsi les pressions transmises au sol jusqu'à une valeur admissible.

Elle est une structure mixte constituée de plusieurs couches, dont la plus importante est la couche de roulement sur laquelle s'exerce directement les agressions conjuguées du trafic et du climat, elle doit donc avoir plusieurs propriétés tels que la rugosité, l'imperméabilité, l'uni, la durabilité...etc.

L'obligation de précéder les travaux préparatoires suivie des travaux d'épandage et de compactage de l'enrobé bitumineux.

CHAPITRE II

LES

BETONS

BITUMINEUX



II.1. INTRODUCTION :

Un enrobé est un mélange de graviers, de sables, de fines et de liant, appliqué en une ou plusieurs couches, et pour formuler un béton bitumineux, on présentera des généralités sur ses constituants et sur lui-même avec les caractéristiques de chacun d'eux.

Ensuite on étudiera théoriquement la formulation de ce type de béton concernant le mélange minéral et la teneur en liant.

II.2. BITUME :

Le bitume, qui est à l'origine une substance naturelle présente dans certaines roches, est un produit industriel à haute valeur technique ajoutée, fabriqué à la demande à partir de certains pétroles bruts. Le bitume est obtenu par fractionnement du pétrole brut par distillation atmosphérique puis « sous vide ».

Sa composition et ses propriétés reflètent celles des huiles dont il est issu et les procédés techniques par lesquels il a été élaboré.

A température ambiante, il est très visqueux, semi-solide, et possède deux propriétés importantes : un liant à fort pouvoir adhésif, notamment sur les métaux destinés aux entreprises, et est totalement imperméable à l'eau.

Ces propriétés sont exploitées dans la construction routière, leur utilisation principale comme liant des enrobés bitumineux, et dans diverses applications pour les travaux publics et l'industrie qui bénéficient principalement de l'étanchéité des toitures, des terrasses ou des bassins.

II.2.1. Fabrication des bitumes :

Il existe quatre principales méthodes de fabrication des bitumes :

1. La distillation :

Il s'agit du processus physique d'évaporation des composants volatils, dans lequel la phase gazeuse est éliminée et condensée et reste au fond de colonne du bitume. Elle se pratique en deux étapes [9] :

- Distillation à la pression atmosphérique :

Ce processus est uniquement utilisé pour retirer les produits légers (essence, kérosène, ...). Le pétrole brut, préalablement décanté et dessalé, est chauffé à une température voisine de 340 °C puis envoyé dans la première colonne de fractionnement maintenue à la pression atmosphérique. Le produit récupéré en fond de tour est le « brut réduit ».

- Distillation sous vide :

Cette opération est nécessaire pour obtenir des produits lourds, on distille d'abord à pression atmosphérique, le fond de la colonne est alors envoyé à la distillation sous vide qui consiste à la séparation des différents constituants en jouant sur les paramètres : débit, pression et température.

Plus on distille, plus le bitume obtenu est dur et plus sa pénétrabilité est faible.

2. Le dés-asphaltage :

Ce procédé est utilisé comme complément de la distillation.

Il consiste à fabriquer un bitume par solubilité du fond de la distillation sous vide dans un solvant (propane ou butane) [9].

Les bitumes de dés-asphaltage sont en général susceptibles à la température.

3. Le soufflage :

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

Le bitume obtenu est appelé bitume soufflé, Il est peu employé en technique routière mais est plus utilisé comme produit d'étanchéité de bâtiment [9].

4. Le craquage :

Le craquage est un traitement des fonds de colonne sous vide à des hautes températures comprises entre 450 et 500°C et à des pressions allant de 2 à 25 bars. Ces bitumes n'ont pas d'application routière [9].

II.2.2. Composition chimique:

Le bitume est principalement composé de 5 atomes différents : le carbone, l'hydrogène, l'azote, le soufre et l'oxygène, ainsi que des traces de divers métaux, Vanadium (V), Nickel (N), Aluminium (Al), Calcium (Ca), Magnésium (Mg).

La proportion de chacun de ces hétéroatomes varie d'un bitume à l'autre, et varie selon plusieurs paramètres tels que la source de pétrole brut et le mode de fabrication du bitume [9].

Ces proportions seront modifiées en fonction de l'état de vieillissement, le Tableau II.1, montre un exemple de proportion d'atomes possible au sein d'un bitume.

Tableau II. 1 : Composition élémentaire chimique des bitumes.

Eléments	Concentration en % en masse
Carbone	82-88
Hydrogène	8-11
Soufre	0-6
Oxygène	0-1,5
Azote	0-1
Ainsi que des traces de nombreux métaux	

La séparation du bitume par solvant permet de séparer les bitumes en asphaltènes et en maltènes : les asphaltènes représentent 10 à 30% des bitumes, ils constituent la partie insoluble des bitumes dans les solvants de type n-alcanes et se présentent sous la forme d'un solide dur friable, brun-noir qui contribue largement à la couleur noire du bitume.

Les maltènes, partie soluble correspondent à l'association des résines et des huiles ; les résines ont un rôle essentiel vis-à-vis la stabilité colloïdale du bitume, les huiles représentent 40% à 60% du bitume [3].

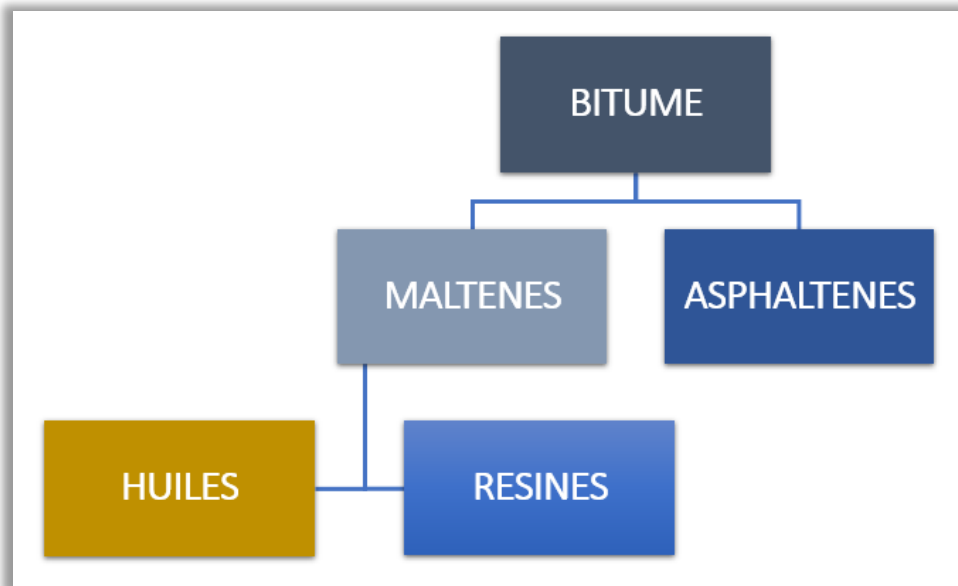


Figure II. 1 : Séparation d'un bitume en asphaltènes, résines et huiles.

II.2.3. Types du bitume :

1. Les bitumes purs :

Ils sont obtenus par raffinage de bruts pétroliers et ne comportent aucun ajout. D'après leur mode de fabrication, on peut obtenir des bitumes dont la consistance est variable.

Les conditions climatiques et le type de projet déterminent le choix du type approprié.

On distingue ainsi cinq principaux types de bitume allant du plus dur aux plus mous identifiés par les classes : 20/30 ; 40/50 ; 60/70 ; 80/100 et 180/220, [3].

2. Les cut-backs :

Ce sont des bitumes fluidifiés obtenus par un mélange de bitume pur soit avec des fractions légères de distillation du pétrole telles que le kérosène, soit avec des huiles légères provenant de la distillation de la houille afin de réduire leur viscosité, [3].

À leur exposition aux conditions atmosphériques, les solvants s'évaporent et laissent le bitume semi-dur remplir sa fonction.

On utilise les cut-backs pour des enrobés pour couches de scellement et couches d'accrochage.

On distingue ainsi :

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

3. Les bitumes fluxés :

Ce sont des bitumes purs dont on a diminué la consistance par incorporation de produits provenant de la distillation du pétrole pour au moins cinquante pour cent des ajouts, et de la distillation de goudron de houille [3].

4. Les bitumes composés :

Mélanges comportant au moins cinquante pour cent de bitume pur. On utilise comme additifs du brai de houille ou du goudron de houille [3].

5. Les bitumes modifiés :

Ce sont des bitumes composés avec ajout de substances ; le plus souvent macromoléculaires autres que les fines minérales ou additifs d'adhésivité [3].

6. Les émulsions de bitume :

Les émulsions de bitume sont des dispersions de fines particules de bitume dans l'eau au moyen généralement d'un agent émulsif qui est un type de savon résineux qui stabilise le produit, l'une des particularités des émulsions est qu'ils éliminent les dangers d'incendie et l'effet toxique ; ce qui n'est pas le cas pour les cut-backs [3].

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

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

- Les émulsions à prise lente.

II.2.4. Essais de caractérisations des bitumes :

1) Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NA 5192 : 2006 | EN 1426 : 1999) :

➤ Principe et définition :

Consistance exprimée comme la profondeur de pénétration verticale d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai du matériau, exprimée en dixième de millimètre (1/10 mm) et dans des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge.

▪ Pour des pénétrations inférieures ou égales à $500 \times 0,1$ mm (50 millimètres), les conditions sont :

- Température 25 °C,
- Charge appliquée : 100 grammes
- Durée d'application de la charge : 5 seconds.

▪ Pour des pénétrations supérieures à $500 \times 0,1$ mm (50 millimètres), les conditions sont :

- Température 15 °C,
- Charge appliquée : 100 grammes
- Durée d'application de la charge : 5 seconds.

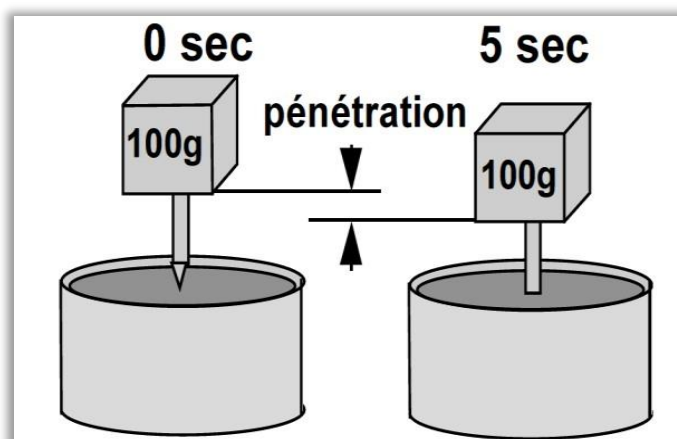


Figure II. 2 : Principe d'essai de pénétrabilité à l'aiguille.

2) Essai du point de ramollissement bille et anneau (NA 2617 : 2006 | EN 1427 :1999) :

➤ Définition :

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

➤ Principe d'essai :

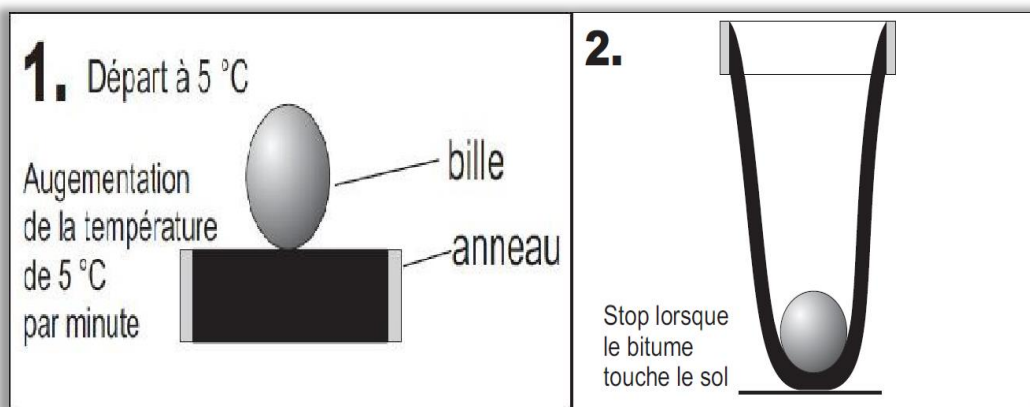


Figure II. 3 : Principe d'essai du point de ramollissement bille et anneau.

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 (FigureII.3).

3) Densité relative (NA 5224 : 1993) :

➤ **Définition :**

La densité relative des produits bitumineux est le rapport de la masse volumique de produit à une température précisée, à celle d'un égal la masse volumiques d'eau à la même température.

➤ **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.

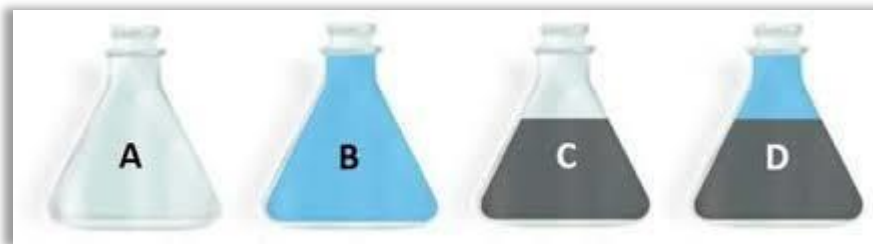


Figure II. 4 : Principe de densité relative.

Avec ;

- A : est la masse (g) du pycnomètre vide.
- 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.

$$d = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (1)$$

II.2.5. Spécifications de bitume :

L'ensemble des classes de bitumes ainsi que leurs spécifications selon la norme NF EN 12591 (Décembre 1999) est dans le tableau suivant

Tableau II. 2 : Spécifications Françaises des bitumes pure.

Caractéristiques	Norme	Classes				
		20/30	40/50	60/70	80/100	180/220
Pénétrabilité à 25°C, 100grs, 5 sec, (1/10mm)	NF T 66-004	20 à 30	40 à 50	60 à 70	80 à 100	180 à 220
TBA (°C), température du Point de ramollissement bille et anneau	NF T 66-008	52 à 63	47 à 60	43 à 56	41 à 51	34 à 43
Densité relative à 25 °C	NF T 66-007 Avril 1957 NA 5193-1993	1,00 à 1,10	1,00 à 1,10	1,00 à 1,10	1,00 à 1,07	1,00 à 1,07
Ductilité à 25°C-50 mm/min en (cm)	NF T 66-006	≥ 25	≥ 60	≥ 80	≥ 100	≥ 100
Solubilité dans le Téra-Chloro éthylène C_2Cl_4 (%)	NF T 66-012 NA 5193-1994	≥ 99,5 %	≥ 99,5 %	≥ 99,5 %	≥ 99,5 %	≥ 99,5 %
Teneur en paraffine (%)	Méthode LCPC	≤ 4,5 %	≤ 4,5 %	≤ 4,5 %	≤ 4,5 %	≤ 4,5 %
Perte de masse au chauffage-163°C/5h en (%)	NF T 66-011 Décembre 1986 NA 5193-1994	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 2	≤ 2
Pénétrabilité restante par rapport à la Pénétrabilité initiale après perte de masse au chauffage en (%)	NF T 66-004	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 70
Point d'éclair Appareil Cleveland à vase ouvert (°C)	NF-EN-ISO 2592 Octobre 2001	≥ 250	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230
Pompabilité (°C) Température limite	-	140	125	120	115	105

II.3. GRANULATS :

II.3.1. Définition :

Les granulats sont le constituant de base de la majorité des travaux de Génie Civil. Il est donc important de maîtriser l'ensemble de leurs propriétés (et influences) ; tant du point de vue de leurs élaborations, que de leurs utilisations (mise en œuvre) ; et ce, afin de maîtriser le coût tout en respectant les critères de qualité.

La nature et les gisements conditionnent les propriétés intrinsèques (résistance, porosité, etc..) des granulats, par contre, les caractéristiques géométriques (granularité, forme, etc...) et de propreté sont fonction du processus d'élaboration, [10].

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

II.3.2. Classification des granulats selon la provenance :

Les granulats routiers sont destinés à la fabrication des bétons bitumineux proviennent de carrières où les roches massives sont concassées, ou bien sont d'origine alluvionnaire.

Selon la provenance on distingue deux types des granulats :

➤ Granulats naturels (roulés) :

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel. Ainsi ils se sont formés des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes.

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature, (Figure II.5) :

- Les granulats de rivière (d'oued).
- Les granulats de mer.
- Les granulats de dunes.

N.B: Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis.



Figure II. 5 : Différents types de granulats.

➤ **Granulats concassés (de carrières) :**

Ils proviennent du concassage, (Figure II.6), de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arêtes vives.

Les granulats artificiels proviennent également de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut fourneau) ou de démolition d'ouvrages.



Figure II. 6 : Chantier de concassage des granulats.

II.3.3. Classification des granulats selon la grosseur :

Selon leurs dimensions on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. Les dimensions soulignées sont celles de la série de base préconisée par la norme européenne (NF EN 933-2).

On distingue les familles de granulats suivantes :

- Fillers 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sablons 0/D où $D < 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sables 0/D où $1 < D < 6,3$ mm ;
- Graves 0/D où $D > 6,3$ mm ;
- Gravillons d/D où $d > \text{let } D < 125$ mm ;
- Ballasts d/D où $d > 25$ mm et $D < 50$ mm.

Avec d : dimension minimale des grains

D : dimension maximale des grains

II.3.4. Caractéristiques et spécifications des granulats :

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

1. Caractéristiques mécaniques :

Résistance à la fragmentation par chocs (Los Angeles), Résistance à l'attrition et à l'usure (MDE).

Elles sont caractérisées par deux principaux coefficients [3] :

- Coefficient Los Angeles (LA) :

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

Le coefficient Los Angeles est calculé selon la formule suivante :

$$LA = (m/M) \times 100 \quad (2)$$

Où m = masse des fines produites au cours de l'essai M = masse de l'échantillon avant essai (M=5000g)

- Coefficient MICRO-DEVAL humide (MDE) :

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

$$MDE = (m / M) \times 100 \quad (3)$$

Où m= masse des fines produites au cours de l'essai M= masse initiale de l'échantillon (M= 500 g)

2. Caractéristiques de fabrication :

(Propreté, forme, granularité, angularité).

➤ **Forme :**

La forme d'un granulat est caractérisée par le coefficient d'aplatissement (A) [3], qui représente le pourcentage d'éléments tels que $G/E > 1,58$ avec :

G : grosseur du granulat E : épaisseur du granulat

En pratique, l'essai consiste à fractionner un échantillon du matériau à tester au moyen d'une série de tamis et de passer le retenu de chaque tamis dans une grille à fentes parallèles.

On détermine ensuite la masse des passants par chaque grille. Le coefficient d'aplatissement est alors calculé par la formule : $A = \Sigma m_i / M$ (4)

Où m_i = masse des passant à la grille i

M = masse de l'échantillon soumis à l'essai

➤ **Propreté :**

Elle est appréciée par les essais d'équivalent de sable [3] :

- L'essai d'équivalent de sable :

Consiste à faire flocculer les particules fines contenues dans un échantillon de sable au moyen d'une solution lavant et de mesurer, après un temps de repos, la hauteur du sable sédimenté (h) et la hauteur totale sédimentée du sable et du flocculat (h').

L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$ES = (h/h') \times 100 \quad (5)$$

➤ **Granularité :**

Il s'agit de définir la classe granulaire du granulat en procédant à l'essai d'analyse granulométrique par tamisage.

L'essai consiste à fractionner le matériau à tester au moyen d'une série de tamis et de déterminer par suite les pourcentages cumulés des passants à chaque tamis [3].

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

- Le refus au tamis d'ouverture D est inférieur à x %
- Le tamisât au tamis d'ouverture d est inférieur à x %
- Le tamisât au tamis d'ouverture $d/2$ est inférieur à y %, avec : $x = 10$ si $D/d \geq 2$ et $x = 15$ si $D/d < 2$; $y = 3$ %

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

➤ **Angularité :**

Elle définit le pourcentage d'éléments concassés contenus dans un matériau donné. Elle est caractérisée par l'indice de concassage ou le rapport de concassage [3].

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

Le rapport de concassage (RC) d'un matériau d_1/D_1 , fabriqué à partir d'un matériau d_2/D_2 est égal au rapport d_2/D_1 un matériau est dit concassé pur lorsque son rapport de concassage est supérieur à 4 [3].

II.4. BETON BITUMINEUX :

II.4.1. Définition :

On appelle enrobé bitumineux tout mélange de granulats et du liant hydrocarboné.

Le terme est donc plus général que celui du béton bitumineux puisqu'il inclut les mélanges dont le liant n'est pas forcément un bitume (goudron, liant à base de bitume fluidifié...).

Un enrobé bitumineux est défini comme un mélange de liant bitumineux (5 à 7 % en masse) d'agrégats (de taille varie entre 0 et D) et de fines (passant à 80 μm).

L'obtention des enrobés par mélange des granulats et du bitume fait appel à des propriétés bien spécifiques aux liants hydrocarbonés en général et donc au bitume en particulier :

- Un pouvoir d'adhésion aux granulats
- Une consistance variable avec la température.

II.4.2. Caractéristiques des enrobes bitumineux :

L'enrobé noir est imperméable (gestion des eaux pluviales obligatoire), sa surface est résistante et plus ou moins rugueuse, il a de très bonnes qualités d'adhérence.

Il est de couleur noire puis devient gris au fil du temps, son intégration aux sites sensibles peut être difficile.

Sa surface est entièrement composée :

- De granulats de granulométrie 0/6 ; 0/10 ; 0/14 ou 0/20 (grains dont le diamètre est compris entre 0 et 6 mm ; entre 0 et 10 mm ; entre 0 et 14 mm ou entre 0 et 20 mm).
- De liant (essentiellement du bitume).

Sa formulation diffère selon le type d'usage qu'il supporte (voirie légère, lourde...).

Plus les granulats utilisés sont de petites tailles, moins le revêtement entraîne de nuisances sonores.

La durée de vie de l'enrobé noir est liée à la structure mise en place au regard des usages qu'elle supporte. Elle est diminuée par les tranchées que le revêtement subit.

Toutefois, elle reste importante, environ 20 ans pour une couche de roulement, [12].

II.4.3. Différents types d'enrobés :

a) Les enrobés à chaud :

Le principe de cette technique consiste à utiliser le fait que le bitume se présente sous forme liquide à des températures de l'ordre de 140 à 160°C et peut être mélangé avec des agrégats sable et gravillons eux-mêmes déshydratés et chauffés à des températures de même ordre.

➤ Bétons bitumineux souple BBS :

Ces enrobés sont constitués le plus souvent à partir de sables roulés ou alluvionnaires semi concassés, et d'un bitume plutôt mou 70/100 plus rarement 50/70 et au dosage élevé afin d'obtenir un enrobé déformable qui soit adaptable au support.

Ces enrobés présentent une très faible résistance à l'orniérage.

Leur domaine d'emploi est réservé aux chaussées souples qui sont circulées par des trafics réduits (≤ 1500 véhicules/jour) et à faible vitesse [9].

➤ **Bétons bitumineux semi-grenu BBSG :**

Les BBSG peuvent être utilisés en couche de roulement et de liaison, selon l'épaisseur de mise en œuvre de 5 à 7 cm ou de 6 à 9 cm, Ils sont de granularité 0/10 ou 0/14, généralement de type continu.

Les épaisseurs minimales en tous points correspondantes sont de 4 ou 5 cm.

En général on utilise un bitume dur ou spécial [9].

➤ **Bétons bitumineux mince BBM :**

Les liants utilisés sont essentiellement des bitumes purs. Toutefois, pour améliorer le comportement sous fort trafic, des liants spéciaux ou modifiés sont aussi utilisés.

Les performances des BBM sont jugées pour l'ensemble des critères que sont : l'orniérage, l'adhérence, l'imperméabilisation. Cette technique est fréquemment utilisée sur route nationale [9].

On distingue cinq types de bétons bitumineux minces en fonction de leur granulométrie :

1. Béton bitumineux mince A 0/10 mm (BBM A 0/10)
2. Béton bitumineux mince A 0/14 mm (BBM A 0/14)
3. Béton bitumineux mince B 0/10 mm (BBM B 0/10)
4. Béton bitumineux mince B 0/14 mm (BBM B 0/14)
5. Béton bitumineux mince C 0/10 mm (BBM C 0/10)

Les types A se caractérisent par une courbe granulométrique discontinue entre 2mm et 6,3 mm.

Les types B se caractérisent par une courbe granulométrique discontinue entre 4 mm et 6,3 mm.

Le type C se caractérise par une courbe granulométrique continue.

Epaisseur d'utilisation :

Les épaisseurs moyennes d'utilisation et les épaisseurs minimales en tout point sont représentées dans le tableau II.3

Tableau II. 3 : Épaisseurs d'utilisation par couche du BBM (NF P 98-132).

Type de BBM	Épaisseur totale en tout point (cm)	Épaisseur moyenne d'utilisation (cm)
BBM A, B ou C 0/10	3 à 4	2,5
BBM A, B ou C 0/14	3,5 à 5	3

Domaine d'emploi :

Les bétons bitumineux minces sont principalement utilisables en voiries urbaines, ils sont parfaitement adaptés aux chargements des tapis vieillissants pour rétablir la rugosité de la chaussée et pour des contraintes de gabarit [11]

➤ Bétons bitumineux très mince BBTM :

Les BBTM sont des enrobés 0/10 ou 0/6 présentant une discontinuité bien marquée et un dosage en sable 0/2 assez faible (de 20 à 30 %). Le liant est généralement un bitume pur modifié dosé de 5,2 à 5,8 %.

L'épaisseur moyenne est de 2,0 à 3,0 cm.

Les BBTM sont employés dans les routes à vitesse élevée pour l'entretien ou chaussée neuve. Ils ont pour objectifs essentiels de contact à la surface de la chaussée des propriétés d'adhérence, de drainabilité mais également, si nécessaire, de propriétés acoustiques ou photométriques.

La technique des BBTM tend à devenir la plus utilisée pour l'entretien des chaussées à trafic important et rapide [9]

On distingue deux types de bétons bitumineux très minces en fonction de leur granulométrie :

- Béton bitumineux très mince 0/6 mm (BBTM 0/6) ;
- Béton bitumineux très mince 0/10 mm (BBTM0/10).

Les épaisseurs d'utilisation sont mentionnées dans le tableau II.4

Tableau II. 4 : Épaisseurs d'utilisation par couche du BBTM (NF P98-137).

Type de BBTM	Épaisseur totale en tout point (cm)	Épaisseur moyenne d'utilisation (cm)
BBTM 0/6 et 0/10	2 à 3	2,5

➤ **Bétons bitumineux ultra-minces BBUM :**

Ce sont les derniers-nés de la famille des enrobés à chaud.

Les formulations de granularité 0/10 ou 0/6 sont discontinues 2/6 ou 2/4 et comportent du bitume généralement modifié, avec un dosage en sable de 20 à 25%

Cette couche est appliquée en épaisseur de 1 à 1,5cm.

Le domaine d'emploi privilégié de BBUM 0/6 est celui des revêtements urbains et des BBUM 0/10 concerne l'entretien des routes secondaires [9].

➤ **Bétons bitumineux drainant BBDr :**

Il s'agit d'un matériau utilisé dans les couches de roulement. Il est caractérisé par une teneur en vide comprise entre 20 et 25% ce qui le rend perméable. Cette perméabilité est obtenue par l'utilisation de granularité discontinue. Le rôle de cet enrobé est d'évacuer les eaux par temps de pluie et ainsi d'éviter les projections d'eau.

Il présente aussi l'avantage de réduire le bruit de roulement du au trafic routier.

On distingue deux types de bétons bitumineux drainants en fonction de leur granulométrie :

- Béton bitumineux drainant 0/6 mm (BBDr 0/6) ;
- Béton bitumineux drainant 0/10 mm (BBDr 0/10).

Avantage :

Par chaussée mouillée l'enrobé drainant présente les avantages suivants :

- Diminution de la réflexion de la lumière des phares sur chaussée mouillée, d'où une meilleure visibilité
- Amélioration de l'adhérence pour des vitesses supérieures à 90 km/h.

Par chaussée sèche, l'enrobé drainant présente les avantages suivants par rapport aux enrobés conventionnels de surface :

- Réduction du bruit : un enrobé drainant en bon état réduit le niveau sonore.
- Bonne résistance aux déformations permanentes.

Les épaisseurs d'utilisation sont mentionnées dans le tableau II.5

Tableau II.5 : Épaisseurs d'utilisation par couche du BBDr (NF P 98134)

Type de BBDr	Épaisseur totale en tout point (cm)	Épaisseur moyenne d'utilisation (cm)
BBDr 0/10	3 à 4	2,5
BBDr 0/14	3,5 à 5	3

➤ **Bétons bitumineux à module élevé BBME :**

Ils sont utilisés dans les couches d'assise de chaussées et la couche de liaison.

Pour obtenir cet enrobé, il est nécessaire d'utiliser un bitume très dur (20/30) voire hyper dur (10/20) afin d'augmenter le module de rigidité de l'enrobé, ce qui permettra de minimiser le problème de l'orniérage.

b) Les enrobés à froid :

Le mélange est entièrement fabriqué et mis en œuvre à la température ambiante et destiné aux couches de roulement des routes à faible trafic.

Technique de fabrication et de mise en œuvre.

L'enrobé à froid est un mélange de granulats, de sable et de bitume utilisé comme liant. L'enrobe à froid, contrairement à l'enrobe chaud qui nécessite une température de 130 °C environ, se met en œuvre à température ambiante (entre 10 et 20°C).

Certains enrobés sont fabriqués avec des granulats ayant déjà été enrobés : il s'agit alors d'un enrobé à froid à double enrobage.

La technique de mise en œuvre nécessite un finisseur si l'enrobé à froid a été complété avec de la résine ou s'applique directement dans les trous pour les réparations :

- Nettoyer le trou ou nid de poule : ôter les gravillons, déchets de végétaux, etc.
- Remplir le trou généreusement en faisant déborder de la surface initiale.

II.4.4. Etude de formulation :

Formuler un enrobé hydrocarboné est déterminer le meilleur mélange de granulats de diverses dimensions et d'un liant (le bitume) permettant d'atteindre des performances visées: imperméabilité, rugosité, résistance mécanique (à l'orniérage et la fatigue). Donc l'objectif de formulation est de déterminer un mélange de différentes classes granulaires qui constitue un squelette granulaire ayant un pourcentage de vides ni trop faible ni trop élevé. Un faible pourcentage de vide empêche l'introduction d'une quantité du liant suffisante pour enrober l'ensemble des grains sans saturer le mélange, et un pourcentage de vides élevé favorise le développement des déformations permanentes par post-compactage [3].

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

- Composition théorique d'un béton bitumineux :

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.

- 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, figure II.7.

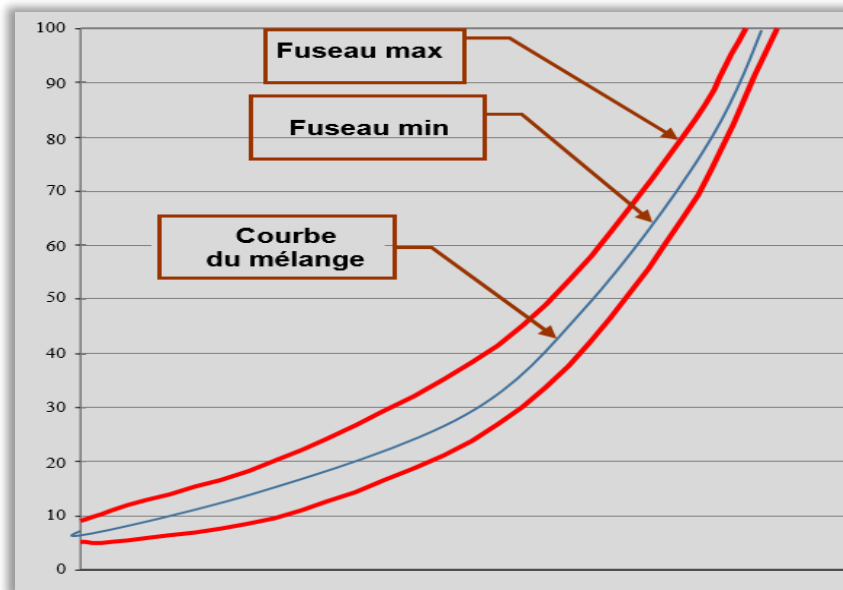


Figure II. 7 : Mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite dans le fuseau.

- Détermination du dosage en liant :

La teneur en bitume représente le rapport de la masse de liant à la masse des granulats secs exprimé en pourcentage, pour cela on utilise la formule suivante :

$$\text{Liant}(\%) = K \cdot a \cdot (\Sigma)^{1/5} \quad (6)$$

K : module de richesse qui caractérise l'épaisseur moyenne du film autour des granulats

Σ : surface spécifique conventionnelle, sa formule est comme suivie :

$$\Sigma(\text{m}^2/\text{kg}) = 0,25G + 2,3S + 12s + 135f \quad (7)$$

Avec :

G : proportion pondérale des éléments supérieurs à 6,3 mm ;

S : proportion pondérale des éléments compris entre 6,3 et 0,315 ;

s : proportion pondérale des éléments compris entre 0,315 et 0,08 ;

f : proportion pondérale des éléments inférieurs à 0,08 mm ;

a : coefficient destiné à tenir compte de la masse volumique réelle des granulats (MVRg), si celle-ci diffère de 2,65 kN/m³, on utilise la formule suivante :

$$a = 2,65 / \text{MVRg} \quad (8)$$

Avec :

$$\text{MVRg} = 100 / [(\% G_1/\rho_1) + (\% G_2/\rho_2) + (\% G_3/\rho_3) + \dots + (\% G_i/\rho_i)] \quad (9)$$

Le dosage en liant est calculé avec trois modules de richesse, on aura donc trois formulations. Pour chaque formulation, on calcul la masse volumique réelle de l'enrobé bitumineux, et cela à partir des masses volumiques des composants, par la formule suivante:

$$\text{MVR} = (100 + \text{Pb}) / [(\% G_1/\rho_1) + (\% G_2/\rho_2) + (\% G_3/\rho_3) + \dots + (\text{Pb}/\text{Db})] \quad (10)$$

% **G_i** : pourcentages de fractions granulaires ;

% **Pb** : pourcentage en poids du bitume ;

ρ_i : masses volumiques des granulats ;

Db : masse volumique du bitume.

Compacité :

La compacité "C" est une conséquence directe de la formulation.

Sa formule est la suivante :

$$C = (\gamma_{app}/\gamma_{réel}) \times 100 \quad (11)$$

Avec :

γ_{app} : la densité apparente de l'enrobé.

γ_{réel} : la densité réelle de l'enrobé.

II.4.5. Essais sur les enrobés bitumineux

1. Essai Marshall sur mélange hydrocarbonés NA 5227(2007) | 12697 – 34 (2004)

L'essai a pour but de déterminer, pour une température et une énergie de compactage données, la résistance dite "stabilité" et la déformation plastique dite "fluage".

➤ **Domaine d'application :**

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

➤ **Principe de l'essai :**

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

Sur les éprouvettes ainsi confectionnées, on détermine entre autres :

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

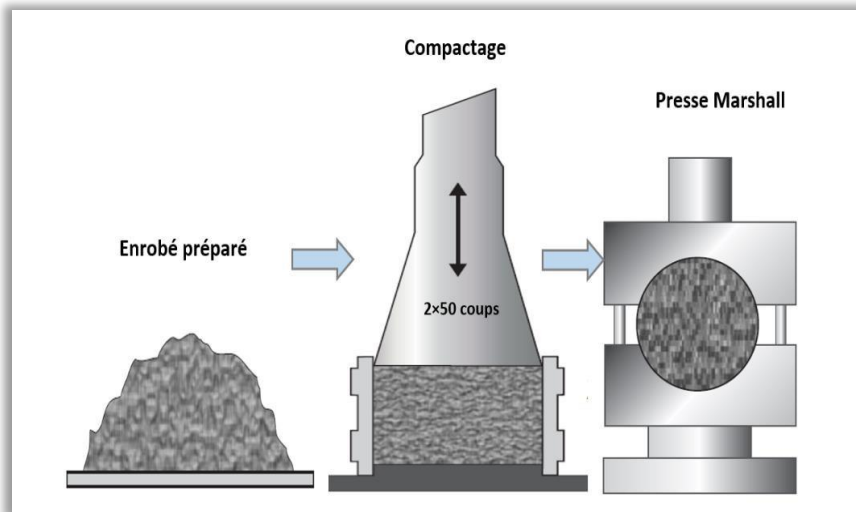


Figure II. 8 : Principe de l'essai Marshall.

2. Essai Duriez norme NF P98-251-1

L'essai a pour but de déterminer, pour une température et un compactage donné, la tenue à l'eau d'un mélange hydrocarboné à chaud, à partir du rapport des résistances en compression avec et sans immersion des éprouvettes, et leur pourcentage de vides.

➤ Domaine d'application :

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

➤ Principe de l'essai :

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

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

- Température de l'essai, qui est de 18°C au lieu de 60°C dans l'essai Marshall.
- Mode d'application de la charge, qui est diamétrale dans l'essai Marshall, elle est axiale dans l'essai Duriez.

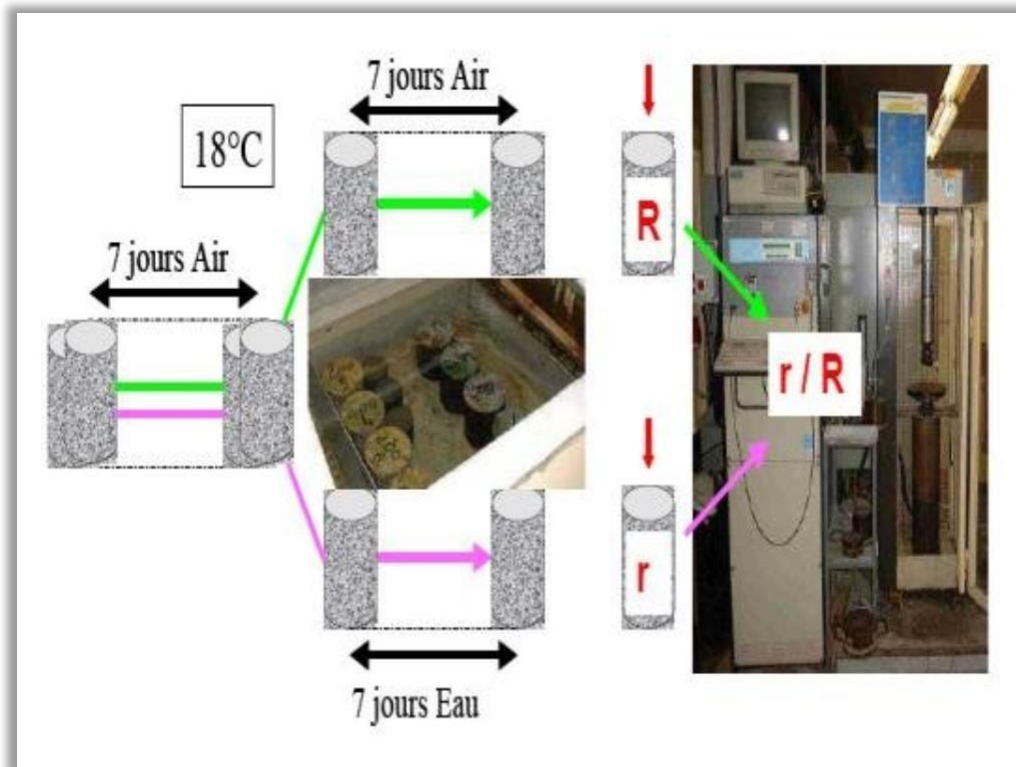


Figure II. 9 : Principe de l'essai Duriez.

II.5. 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.

Par ailleurs les essais de caractérisation et de contrôle des bétons bitumineux nécessitent du matériel spécifique et une technicité propre.

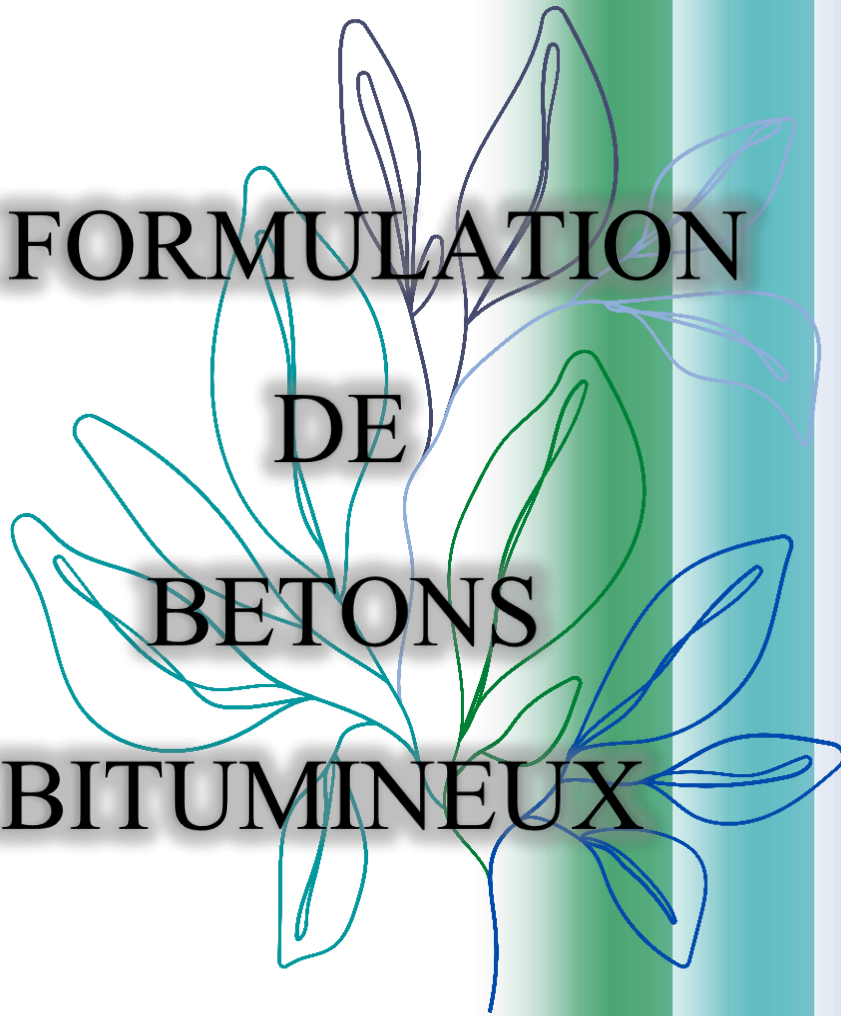
CHAPITRE III

FORMULATION

DE

BETONS

BITUMINEUX



III.1 INTRODUCTION :

Afin de poursuivre notre démarche de travail, on passe à la phase expérimentale, on commence par des essais sur les matériaux utilisés (granulats et bitume) pour déterminer leurs caractéristiques physico-mécaniques, ensuite, on présente les mélanges choisis dans cette étude par la détermination de distribution granulométrique de chaque constituant granulaire choisi et les dosages de bitume supposés afin de formuler un béton bitumineux.

III.2 CARACTERISTIQUES DES AGREGATS UTILISES :

Les matériaux de constitution de base sont les granulats et le bitume.

Dans notre étude nous avons utilisé les granulats (sable 0/3 et graviers (3/8 et 8/15)) ; provenant de la région de Mansouria Wilaya d'ADRAR (Algérie), et le bitume utilisé de classe 40/50.

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

➤ Masse volumique absolue (NA255 : 2006 | EN 1097 – 6 : 2000)

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulats, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains

La formule qui permet de calculer ce paramètre est : $\rho_s = \frac{M}{V_s}$

ρ_s = La masse volumique absolue (g/cm^3)

M : La masse de l'échantillon (g)

V_s : Le volume absolu de l'échantillon (cm^3)

$$\rho_s = \frac{M_1}{M_2 - (M_3 - M_1)}$$

Tels que :

- M_1 : la masse de l'échantillon
- M_2 : la masse du pycnomètre rempli d'eau
- M_3 : la masse du pycnomètre rempli d'eau et échantillon.

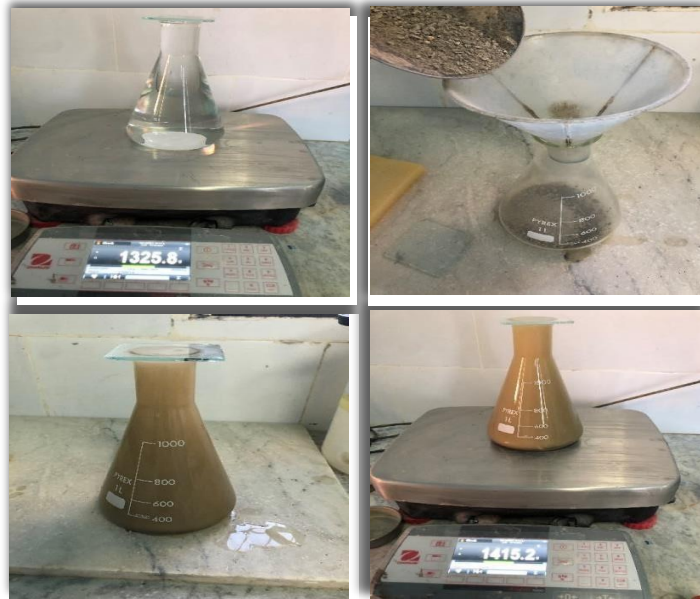


Photo III.1 : Etapes de détermination de la masse volumique absolue

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

Par définition la masse volumique ρ_a d'un échantillon est le quotient de sa masse

M par son volume V_a qu'il occupe : $\rho_a = \frac{M}{V_a}$

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

M : La masse de l'échantillon (g)

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

$$\rho_a = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Tels que :

- M_1 : la masse de récipient vide (g)

- M_2 : la masse de récipient rempli d'échantillon (g)
- V : le volume de récipient (cm^3)



Photo III.2 : Etapes de détermination de la masse volumique apparente

Le tableau III.1, regroupe les résultats obtenus de la masse volumique absolue et apparente des classes d'agrégats utilisés:

Tableau III.1 : Résultats de la masse volumique (absolue et apparente)

Classes d'agrégats	0/3	3/8	8/15
$\rho_{\text{Ann}} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$	1,57	1,41	1,47
$\rho_{\text{Abs}} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$	2,65	2,61	2,68

III.2.2 Analyse granulométrique (NFP 18-560)

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



Photo III.3 : Appareillage de l'essai d'analyse granulométrique.

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau III.2 :

Tableau III. 2 : Résultats de l'essai d'analyse granulométrique

Tamis (mm)	Tamisât (%)		
	Sable0/3	Gravier3/8	Gravier 8/15
20			100
16			94,4
12,5			41,42
10			11,87
8		100	1,64
6,3		92,31	0,07
5	100	62,6	0
2,5	93,17	2,002	
1,25	59,7	0	
0,63	38,69		
0,315	25,83		
0,16	16,88		
0,08	7,64		

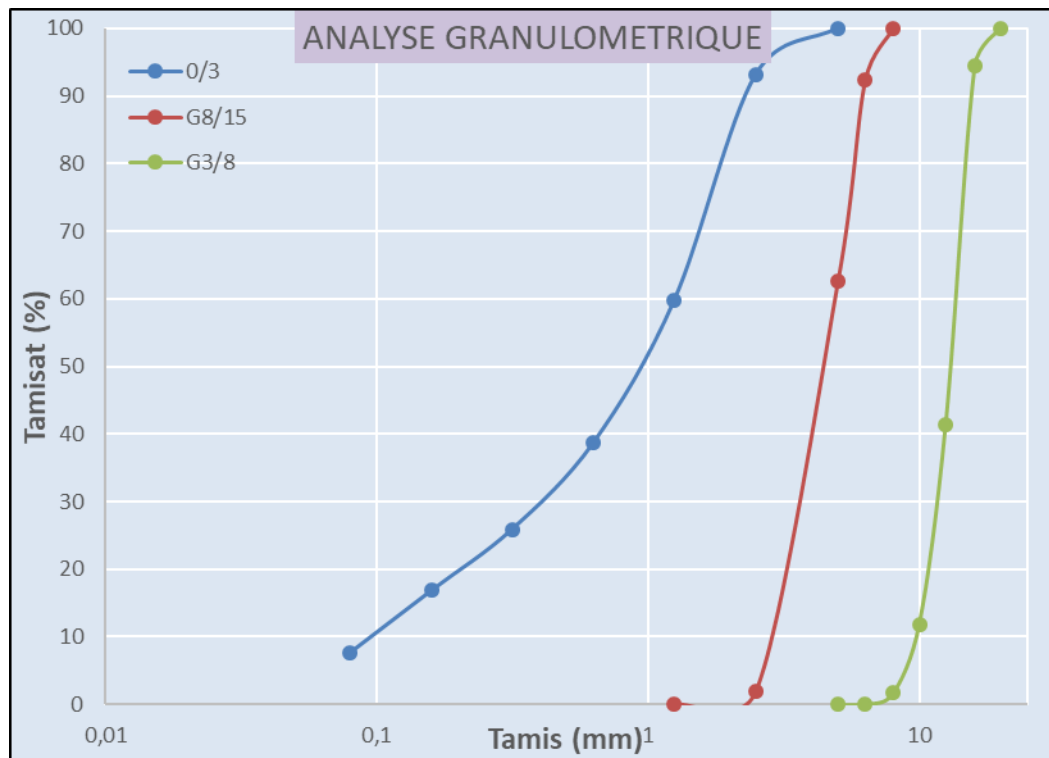


Figure III.1 : Courbes granulométriques des classes 0/3, 3/8 et 8/15.

III.2.3 Équivalent du sable (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.

- **Étapes de l'essai :**

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 flocculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable.

Après 20 minutes, calculer l'équivalent de sable (ES) comme la hauteur de sédiment, exprimée en pourcentage de la hauteur totale de matériau flocculé dans le cylindre.

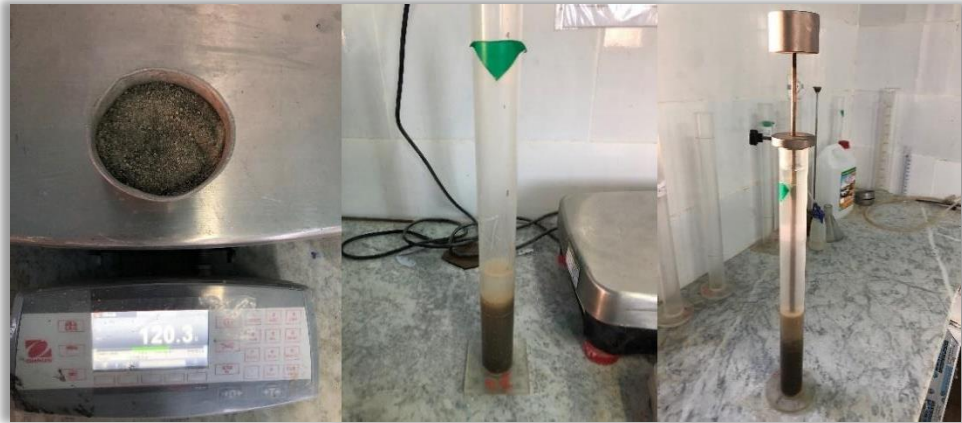


Photo III.4 : Etapes d'essai d'équivalent de sable.

Le tableau III.3 présente les résultats d'équivalent de sable de la classe 0/3:

Tableau III.3 : Résultats d'équivalent de sable (sable concassé 0/3)

Echantillon	Sable concassé (0/3)	Spécification
Es (%)	53,97	> 45

D'après le résultat de la valeur de l'équivalent de sable de la fraction 0/3, on constate bien qu'elle est acceptable pour l'utilisation dans les chaussées.

III.2.4 Propreté superficielle (NF P 18-591) :

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral des particules inférieures à 0,5 mm, mélangées ou adhérentes 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 III.4 :

Tableau III.4 : Résultats de l'essai de la propreté superficielle

Classe	3/8	8/15	Spécification
Propreté (%)	1,54	0,79	$\leq 2\%$

Le gravier de classe 8/15 est plus propre que celui de la classe 3/8, néanmoins les deux valeurs de la propreté superficielle restent dans la fourchette préconisée.

III.2.5 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 granulats est définie par trois grandeurs géométriques :

L : distance minimale du deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulats.

E : distance minimale du deux plans parallèles tangents au granulats.

G : dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulats.

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

$$G/E > 1,58$$

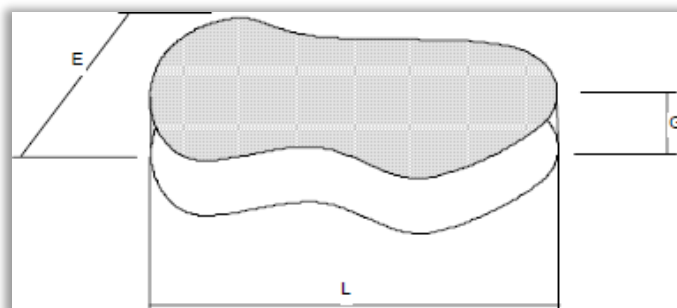


Figure III.2 : Dimensions d'un granulat



Photo III.5 : Grille pour essai d'aplatissement

Le tableau III.5 regroupe les résultats d'essai d'aplatissement des deux graviers 3/8 et 8/15 :

Tableau III.5 : Résultats du coefficient d'aplatissement des graviers utilisés.

Classe	3/8	8/15	Spécification
Coefficient d'aplatissement A (%)	36,01	13,51	$\leq 20\%$

Le coefficient d'aplatissement du gravier de classe 8/15 est acceptable par rapport à la limite préconisée par le CTTP 2004, par contre, le gravier de classe 3/8 présente un aplatissement dépassant largement le seuil limite, cela va certainement influencer le comportement de l'enrobé bitumineux confectionné avec tel agrégat.

III.2.6 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.6 : Equipement spécifique de l'essai Los Angeles.

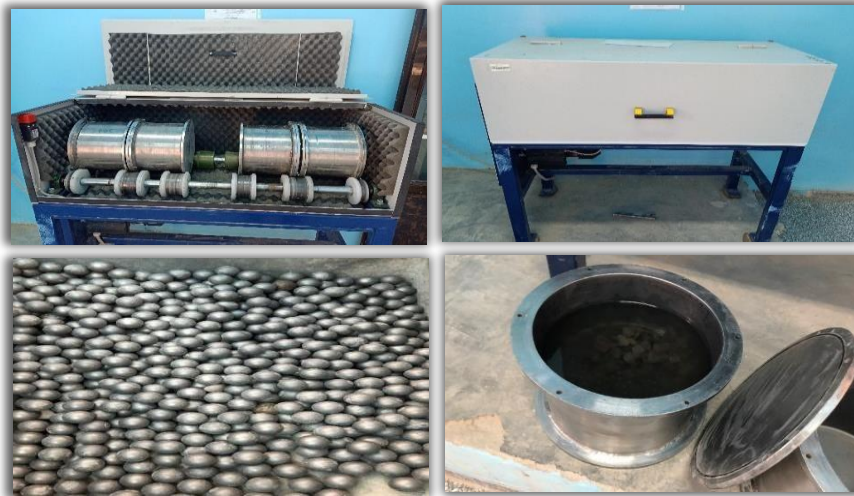
III.2.7 Micro-Deval en présence d'eau MDE ; (NA 5129 EN 1097 – 1)

- **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



*Photo III.7 : Equipement spécifique de l'essai Micro-
résultat est faible, plus le granulat est résistant à l'usure.*

Les résultats obtenus des essais (Micro-Deval, Los Angeles) sont mentionnés dans le tableau III.6

Tableau III. 6 : Résultats d'essais Los Angeles et Micro-Deval

Essais	3/8	8/15	Spécification
Los Angeles	13,98	11,65	$\leq 25\%$
Micro Deval	24,24	19,24	$\leq 20\%$

En ce qui concerne les résultats de l'essai Los Angeles effectué sur les deux classes de graviers, on peut visiblement voir qu'ils présentent une résistance aux chocs acceptable. Par contre, la résistance à l'usure des deux graviers n'est pas aussi satisfaisante, du fait qu'elle est juste à la limite pour la classe 8/15, et dépasse la limite pour la classe 3/8.

III.3 FILLERS D'APPORT :

Lorsque les fractions granulaires proposées pour la réalisation de l'étude de formulation de l'enrobé montrent un manque de fines (éléments $< 0,08$ mm), le recours à des fines d'apport est nécessaire afin de garantir une compacité suffisante de l'enrobé étudié, ces fines doivent être non plastiques, [13].

On utilise des fillers avec une masse volumique absolue de $2,7 \text{ g/cm}^3$

III.4 CARACTERISTIQUES DU BITUME UTILISE :

Le bitume utilisé est un bitume pur de classe 40/50 provenant de l'usine d'El-Ouadjda, région de Timimoune.

Des essais d'identification ont été réalisés sur ce bitume dans le laboratoire LTPS, antenne d'Adrar.

✚ Essai de pénétrabilité à l'aiguille :

La photo III.8 présente le matériel spécifique de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille.

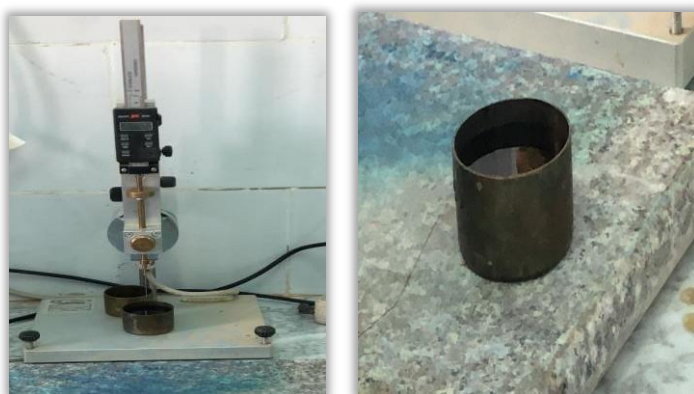


Photo III.8 : Essai de pénétrabilité à l'aiguille

Les résultats d'essai de pénétrabilité à l'aiguille effectués sur le bitume utilisé sont mentionnés dans le tableau III.7.

Tableau III. 7 : Résultat d'essai de pénétrabilité à l'aiguille

Essai	Unité	Référence	Résultat	Spécification
Pénétrabilité à l'aiguille à 25°C	1/10 mm	NF T 66-004	44,5	40 à 50

D'après le résultat de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille, on constate bien que le bitume analysé est effectivement un bitume de classe 40/50.

✚ Essai de point de ramollissement :

La photo III.9 montre l'équipement spécifique de l'essai de point de ramollissement ainsi que la préparation des deux anneaux remplis de bitume.

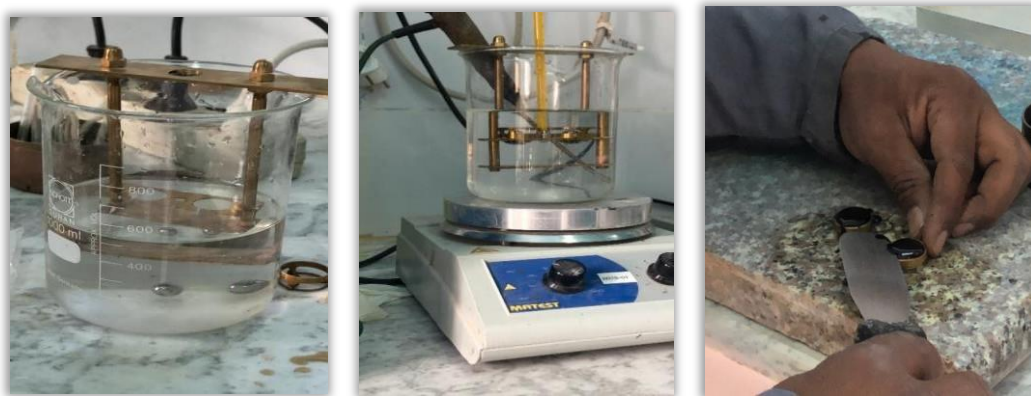


Photo III.9 : Matériels et étapes de l'essai du Point de ramollissement.

Les résultats d'essai du Point de ramollissement sont mentionnés dans le tableau III.8

Tableau III.8 : Résultat d'essai du Point de ramollissement

Essai	Unité	Norme	Résultat	Spécifications
Point de ramollissement TBA	°C	NF T 66-008	48,8	47 à 60

En se référant au résultat de l'essai Point de ramollissement mentionné sur le tableau III .8, la température de ramollissement du bitume utilisé est acceptable du moment qu'elle demeure dans l'intervalle 47 °C à 60 °C.

✚ Essai de densité relative :

La photo III.10 présente le matériel utilisé ainsi que les étapes de l'essai de densité relative.



Photo III.10 : Matériels et étapes de déroulement de l'essai de densité relative sur bitume.

Le tableau III.9 présente le résultat de l'essai de densité relative effectué sur le bitume utilisé dans la préparation de l'enrobé bitumineux.

Tableau III.9 : Résultat de l'essai de densité relative.

Essai	Unité	Norme	Résultat	Spécifications
Densité relative à 25°C	g/cm ³	NFT 66-007 Avril 1957 NA 5193-1993	1,03	1,00 à 1,10

D'après la valeur de la densité relative trouvée, le bitume analysé répond bien aux caractéristiques de la classe 40/50 selon la norme NA 5193

III.5 DESCRIPTION DES MELANGES ETUDIÉS

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

Le tableau III.10 ainsi que la figure III.3 présentent respectivement les données du fuseau de spécification 0/14 et sa représentation graphique.

Tableau III.10 : Fuseau de spécifications 0/14

Tamis (mm)	% de Passant	
	Minimum	Maximum
14	94	100
10	72	84
6.3	50	66
4	40	54
2	28	40
0.08	7	10

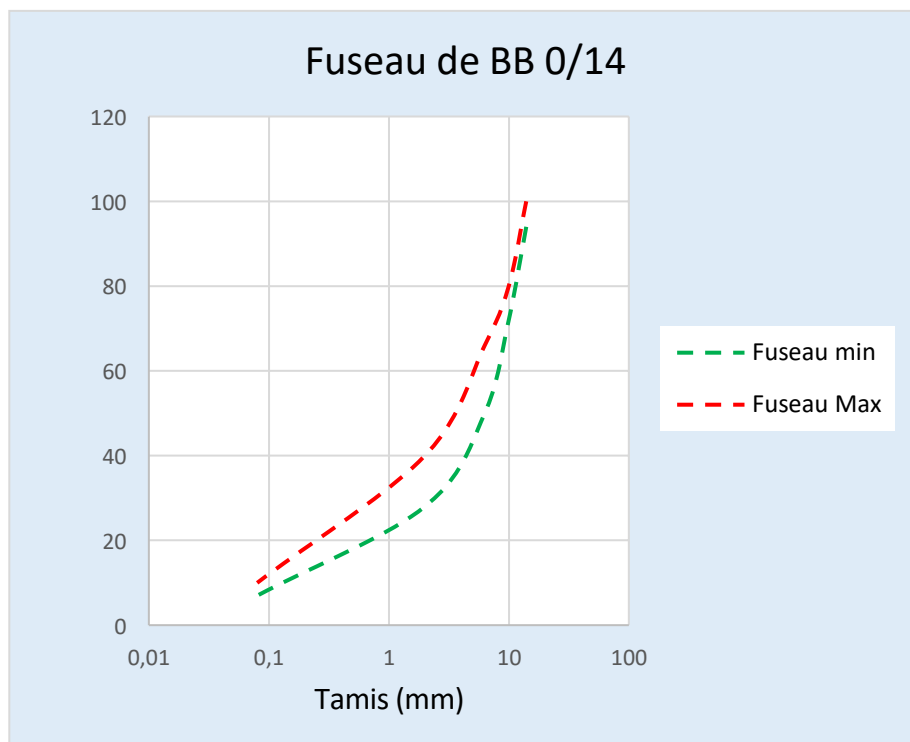


Figure III.3 : Courbe du fuseau de spécification 0/14

III.5.1 Déterminations des mélanges à étudier :

L'objectif visé est de caractériser la disposition granulaire du squelette minéral et choisir une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait conférer une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné, [3].

La figure III.4 donne les pourcentages des classes 0/3 ; 3/8 ; 8/15 et l'apport de filler, rentrant dans la composition du mélange.

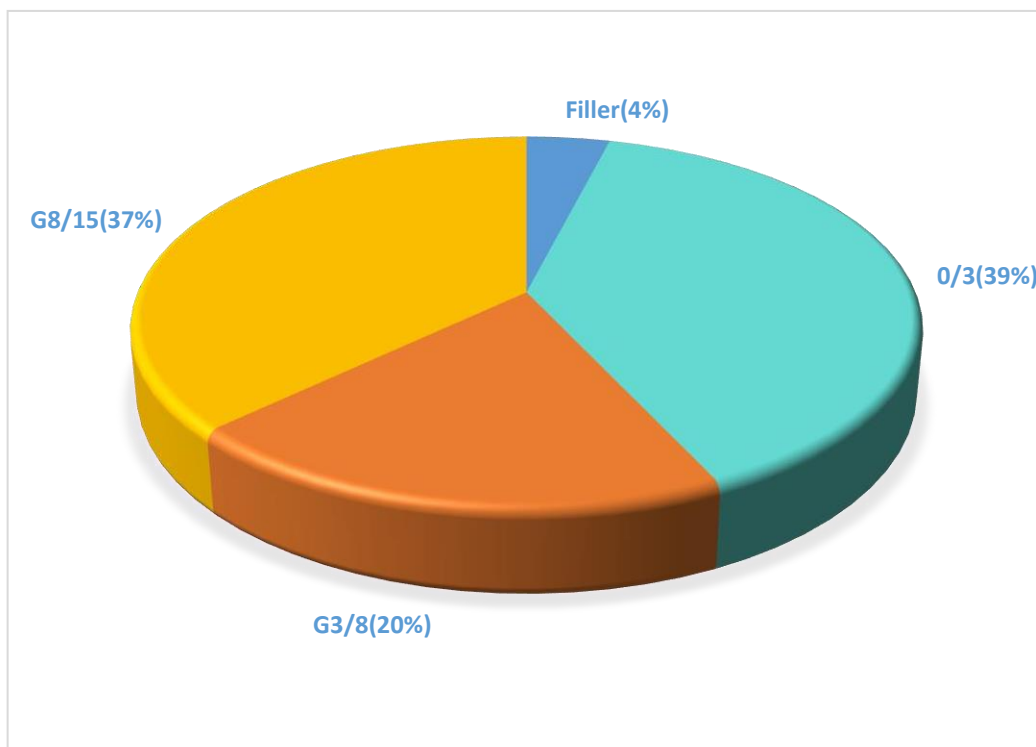


Figure III.4 : Composition du mélange granulaire

Le tableau III.11 récapitule les résultats de l'analyse granulométrique des différentes classes des agrégats utilisés, ainsi que du mélange arrêté.

Tableau III.11 : Pourcentages des agrégats utilisés.

		S 0/3	G 3/8	G 8/15	% Filler	% 0/3	% 3/8	% 8/15	Mélange
Tamis(mm)	Filler				4	39	20	37	100
31,5	100	100	100	100	4	39	20	37	100
25	100	100	100	100	4	39	20	37	100
20	100	100	100	100	4	39	20	37	100
16	100	100	100	94	4	39	20	34,78	97,78
12,5	100	100	100	41	4	39	20	15,17	78,17
10	100	100	100	12	4	39	20	4,44	67,44
8	100	100	100	2	4	39	20	0,74	63,74
6,3	100	100	92	0	4	39	18,4	0	61,4
5	100	100	62	0	4	39	12,4	0	55,4
4	100	100	38	0	4	39	7,6	0	50,6
3,15	100	100	18	0	4	39	3,6	0	46,6
2,5	100	93	2	0	4	36,27	0,4	0	40,67
2	100	82	0	0	4	31,98	0	0	35,98
1,25	100	60	0	0	4	23,4	0	0	27,4
0,63	100	38	0	0	4	14,82	0	0	18,82
0,315	100	26	0	0	4	10,14	0	0	14,14
0,16	100	17	0	0	4	6,63	0	0	10,63
0,080	80	7,64	0	0	3,2	2,98	0	0	6,18

Les pourcentages des différents constituants du mélange granulaire (filler, 0/3 ,3/8 et 8/15) sont choisis de telle façon que la courbe granulométrique du mélange soit inscrite dans le fuseau de spécification 0/14.

La figure III.5 présente la courbe granulométrique du mélange et sa position par rapport au fuseau 0/14.

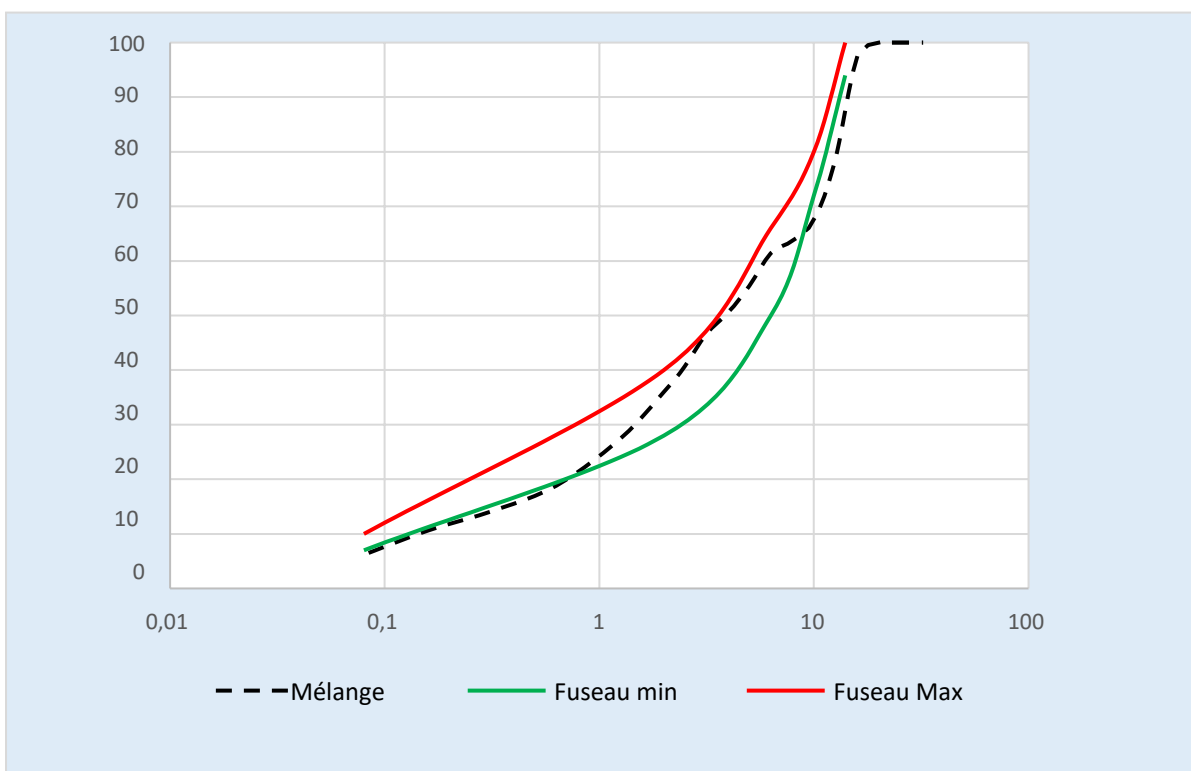


Figure III.5 : Position de la courbe granulométrique du mélange granulaire par rapport au fuseau 0/14

III.5.2 Détermination des teneurs en bitume:

Calcul de Coefficient Correcteur α :

$$MVRg = \frac{100}{\frac{4}{2,7} + \frac{39}{2,65} + \frac{20}{2,61} + \frac{37}{2,68}} = 2,665$$

$$\alpha = 0,998$$

Calcul du Surface Spécifique des Agrégats Σ :

$$\Sigma = 0,25G + 2,3S + 12s + 135f = 0,25 (38,6) + 2,3 (47,3) + 12 (8) + 135 (6,2)$$

$$\Sigma = 10,481$$

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau III.12

Tableau III.12 : Teneurs en bitume

Module de richesse K	3,25	3,45	3,65
Coef correcteur α	0,998		
Surface Spécifique Σ (m²/kg)	10,481		
Teneur en liant (%)	5,19	5,51	5,83
Densité théorique	2,47	2,46	2,45

III.6 RESULTATS DES ESSAIS Marshall et Duriez :

La figure III.6 présente les étapes d'essai Marshall.



Figure III.6 : Etapes de préparation d'éprouvettes pour essai Marshall [14].

La figure III.7 présente les étapes d'essai Duriez.



Figure III.7 : Etapes de préparation et conservation d'éprouvettes pour essai Duriez [14].

Trois mélanges avec différents dosages en liant pour la classe d'enrobé à chaud (BB 0/14) ont été effectués, les résultats d'essai Marshall et Duriez sont donnés dans le tableau III.13 et tableau III.14.

Tableau III.13 : Résultats d'essai Marshall.

Désignation	Formulation			Spécification
	1	2	3	
Dosage en liant%	5,2	5,5	5,8	
Densité réelle $\gamma_{réel}$	2,47	2,46	2,45	
Densité apparente γ_{app}	2,38	2,36	2,36	
Compacité Marshall	96,36	95,93	96,33	$95 \leq C \leq 97$
Stabilité Marshall (KN)	7,64	9,34	11,35	$> 10,50$
Fluage Marshall (mm)	3,45	3,66	3,87	< 4
Quotient Marshall (KN/mm)	2,214	2,552	2,933	

Tableau III.14 : Résultats d'essai Duriez.

Désignation	Formulation			Spécifications
	1	2	3	
Dosage enliant%	5.2	5.5	5.8	
Densité réelle $\gamma_{réel}$	2,47	2,46	2,45	
Densité apparente γ_{app}	2.32	2.35	2.35	
Compacité Duriez %	93,93	95,53	95,92	$92 \leq C \leq 96$
Résistance à l'air (R bars)	93	101	114	> 70
Résistance à l'eau (r bars)	73,5	82,8	104,9	
Rapport r/R	0,79	0,82	0,92	$> 0,75$

Sur les trois mélanges étudiés en laboratoire pour la formulation du béton bitumineux (BB 0/14), la 3ème formulation est à retenir.

III.7 Conclusion :

D'après les résultats recueilli dans ce chapitre, on conclut que les classes de graviers utilisés (3/8 et 8/15) sont acceptables du point de vue caractéristiques intrinsèques (résistance aux chocs, coefficient LA, et résistance à l'attrition en présence d'eau, MDE), d'une part, et d'autre part de fabrication (la propreté (P) et le coefficient d'aplatissement (A)) pour une utilisation dans la confection d'un Béton Bitumineux BB 0/14 destiné aux couches de roulement.

Concernant l'analyse granulométrique des trois classes constituant le mélange granulaire, on a abouti à des pourcentages de telle façon que la courbe du blanc soit inscrit dans le fuseau granulaire 0/14.

Les essais effectués sur le bitume ont donné des résultats acceptables, à savoir l'essai de pénétrabilité, point de ramollissement et la densité relative.

La recherche de la formulation optimale de l'enrobé bitumineux c'est basée sur les résultats de performance mécanique de l'essai Duriez et Marshall. Les trois formulations étudiées avec des teneurs en bitume de 5,2 - 5,5 et 5,8% ont donné de bons résultats en ce qui concerne l'essai Duriez, à savoir la résistance des éprouvettes conservées à l'air libre ($R > 70$ bars), ainsi que le rapport immersion (r/R). Les résultats de l'essai Marshall ont révélé à des valeurs acceptables de fluage et de compacité pour les trois formulations étudiées, mais la stabilité Marshall a été acceptable seulement pour la troisième formulation avec une teneur en bitume de 5,8 qui sera retenue.

CHAPITRE IV
CONTROLE
DE
BETON
BITUMINEUX



IV.1 INTRODUCTION :

Les travaux de réalisation d'un revêtement en béton bitumineux nécessitent un apport de matériaux, la fabrication et la mise en œuvre de l'enrobé. Pour cela, le contrôle de ces travaux doit être obligatoire afin de vérifier la conformité des matériaux et matériels utilisés et les procédés de fabrication et de mise en œuvre, le contrôle de ces travaux inclut les deux modes prédéfinis :

- Des vérifications visuelles de conformité : stockage des agrégats, fonctionnements des réglages du matériel...etc.
- Des essais au laboratoire : Ils portent sur la qualité des matériaux, sur la qualité du mélange lors de la fabrication et la mise en œuvre.

Ce chapitre comporte deux parties ; on présente dans la première partie les différents types de contrôle et on consacre dans l'autre partie sur les résultats du contrôle effectué sur l'enrobé.

IV.2 CONTROLE DE FONCTIONNEMENT DE POSTE D'ENROBAGE :

Durant le fonctionnement du poste d'enrobage, photo IV.1, les doseurs s'usent à force d'utilisation au cours du temps en donnant naissance à des écarts entre les valeurs de consignes commandées par le conducteur au niveau du poste de commande et les valeurs réelles mesurées. Afin de respecter la formulation théorique donnée par l'entreprise et validée par le laboratoire de contrôle, ce dernier doit veiller et procéder au calibrage des différents doseurs de la poste avant le démarrage des travaux [15].



Photo IV.1 : Poste d'enrobage.

La procédure consiste en :

L'étalonnage du poste d'enrobage par la vérification de la conformité du mélange à blanc agrégats (vérifier le respect des pourcentages de chaque classe d'agrégats) On a pris 2 procédés de prélèvements l'une du tapis et l'autre de la sortie des doseurs

Les étapes sont les suivantes:

- Prendre une planche d'essai (agrégats mélangés) de 1 mètre de tapis
- Réaliser l'essai d'analyse granulométrique de l'échantillon prélevé
- Vérifier que la courbe granulométrique dessinée est inscrite dans le fuseau de spécification 0/14

La photo IV.2 présente deux procédés de prélèvements des agrégats mélangés



Photo IV.2 : Prélèvements des agrégats mélangés.

IV.3 CONTROLE DE CONFORMITE DES MATERIAUX ET LA VALIDATION DE LA FORMULATION :

On doit procéder à la vérification de la conformité des caractéristiques des matériaux (agrégats et bitume) utilisés pour la fabrication de l'enrobé qui doivent répondre aux exigences techniques requises.

- **ESSAIS EFFECTUES SUR GRANULATS :**
 - Analyse granulométrique
 - Essai Los Angeles (LA)
 - Essai Micro Deval (MDE)
 - Essai d'aplatissement (A)
 - Essai de propreté (P)
 - Essai d'équivalent de sable sur la fraction 0/3 ES à 10% de fines norme
- **Essais effectués sur le bitume :**
 - Pénétrabilité à 25°C
 - Point de ramollissement
 - Densité

IV.4 CONTROLE DE PROCEDE DE FABRICATION ET QUALITE D'ENROBE :

Après avoir contrôler les caractéristiques des matériaux (essais sur le bitume et les agrégats), on doit procéder à la vérification de la formulation présentée. A cet effet, des essais seront effectués sur le mélange pour valider la formulation par rapport aux spécifications données [15].

Le contrôle de la composition de l'enrobé et le respect de la formulation pendant la fabrication est indispensable aussi bien pour l'entreprise que pour l'administration. Exécuté régulièrement, il donne la meilleure garantie pour un produit conforme et homogène. Il offre la possibilité de correction à temps [15].

Les caractéristiques à contrôler sont :

IV.4.1 Des vérifications aux thermomètres :

- Les températures de chauffage de bitume; (130 – 150)



Photo IV.3 : Température de bitume.

- La température de fabrication;



Photo IV.4 : Température de l'enrobé fabriqué.

IV.4.2 Essai d'extraction au Kumagawa :

Cet essai a pour but de déterminer Les proportions des différents composants (Agrégat et Bitume) :

Mode opératoire :

- Sécher la cartouche à l'étuve à 120°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant, soit P1;
- Introduire dans la cartouche la quantité de matériau bitumineux. Peser, soit P2
- Remplir le ballon avec du toluène ou du xylène, photo IV.5, placer la cartouche dans son papier et l'introduire dans le ballon;
- Introduire le solvant dans la cartouche monter le décanteur et le collier de serrage;
- Adapter le réfrigérant et l'alimenter en eau et brancher le chauffe-ballon
- Lorsque le solvant coule clair, arrêter l'extraction jusqu'à égouttage total de la cartouche, puis remettre en fonctionnement. L'extraction est terminée lorsque le solvant coule à nouveau clair;
- Laisser refroidir l'appareil et égoutter la cartouche, retirer la cartouche de l'appareil et la placer dans une étuve ventilée à 120°C jusqu'à obtention d'un poids constant, soit P3.

Le poids d'enrobé est

$$PE = P2 - P1$$

Le poids du granulat extrait est

$$PG = P3 - P1$$

Le poids du liant est

$$PL = PE - PG$$

Teneur en liant

$$100 \times PL / PG$$

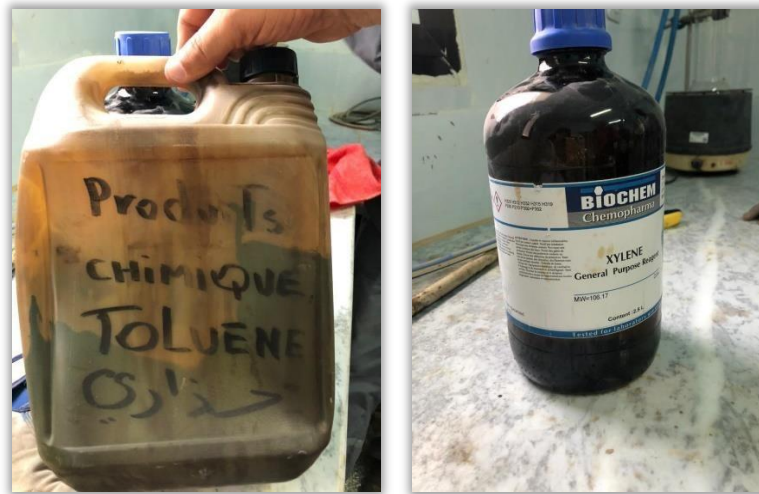


Photo IV.5 : Solvant utilisé pour l'essai d'extraction Kumagawa.

Les étapes de l'essai Kumagawa pour l'extraction de bitume sont présentées par la photo IV.6



Photo IV.6 : Etapes d'extraction du bitume au Kumagawa.

IV.5 CONTROLE DE CONFORMITE DU MATERIAU (ENROBE)

COMPACTE :

Ce contrôle consiste à faire des prélèvements sur la chaussée en béton bitumineux afin de déterminer les caractéristiques fonctionnelles telles la compacité l'épaisseur et la nature de la couche de la chaussée traitée au liant bitumineux.

IV.5.1 Réalisation du carottage

Cet essai comprend 4 phases [16]:

- D'abord, la carotteuse est mise en place au niveau de la zone d'implantation du point.
- L'étape suivante consiste à l'exécution du carottage
- Après cette étape, la carotte est extraite du trou sondage.
- La dernière phase comprend d'une part l'observation visuelle de la carotte pour déceler les éventuelles irrégularités sur sa surface et de la cavité de carottage, et le rebouchage de la cavité d'autre part.

Ces différentes carottes prélevées sur le terrain sont acheminées au laboratoire pour subir un certain nombre de tests.

Cette réalisation est illustrée dans la photo IV.7



Photo IV.7 : Etapes de réalisation du carottage.

IV.5.2 Mesure de la compacité :

Afin de calculer la compacité des carottes prélevées de béton bitumineux compacté, on détermine d'abord leur masse volumique apparente par pesée hydrostatique.

Mode opératoire :

- Sécher les éprouvettes jusqu'à masse constante ;
- Déterminer la masse m_1 et l'épaisseur de chaque éprouvette ;
- Immerger l'éprouvette partiellement dans la paraffine fondue jusqu'à obtention d'un film de paraffine continu recouvrant totalement la surface de l'éprouvette ;
- Après refroidissement, déterminer la masse m_2 de l'éprouvette paraffinée ;
- On détermine la masse lue m_3 de l'éprouvette immergée dans l'eau ;

- La masse volumique apparente en g/cm^3 d'une éprouvette est calculée suivant

l'expression :

$$\frac{m_3}{\frac{m_2 - m_3}{\rho_e} - \frac{m_2 - m_1}{\rho_p}}$$

Avec ;

- ρ_e : la masse volumique de l'eau.
- ρ_p : la masse volumique de la paraffine.

Les étapes de pesée hydrostatique sont présentées dans la photo IV.8



Photo IV.8 : Etapes de pesée hydrostatique

IV.6 RESULTATS DE CONTROLE :

IV.6.1 Etalonnage du poste :

Pour contrôler la conformité des doseurs on a pris deux prélèvements ;

- Le premier prélèvement (de la sortie des doseurs)

La courbe granulométrique du premier prélèvement et sa position par rapport au fuseau de spécification 0/14 sont présentés dans la figure IV.2

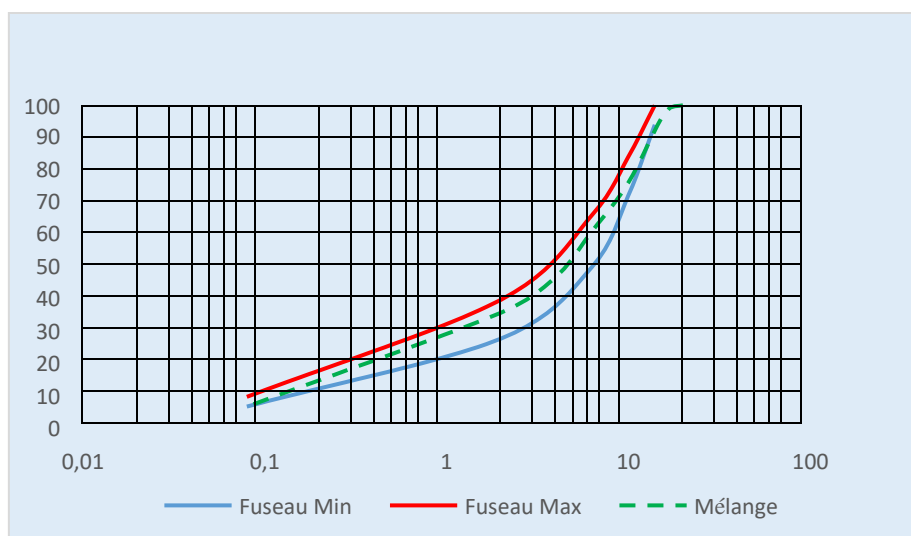


Figure IV.1 : Courbe granulométrique du premier prélèvement et sa position par rapport au fuseau

La courbe du mélange est bien inscrite dans le fuseau

- Le deuxième prélèvement (1mètre du tapis)

La courbe granulométrique du deuxième prélèvement et sa position par rapport au fuseau de spécification 0/14 sont présentés dans la figure IV.

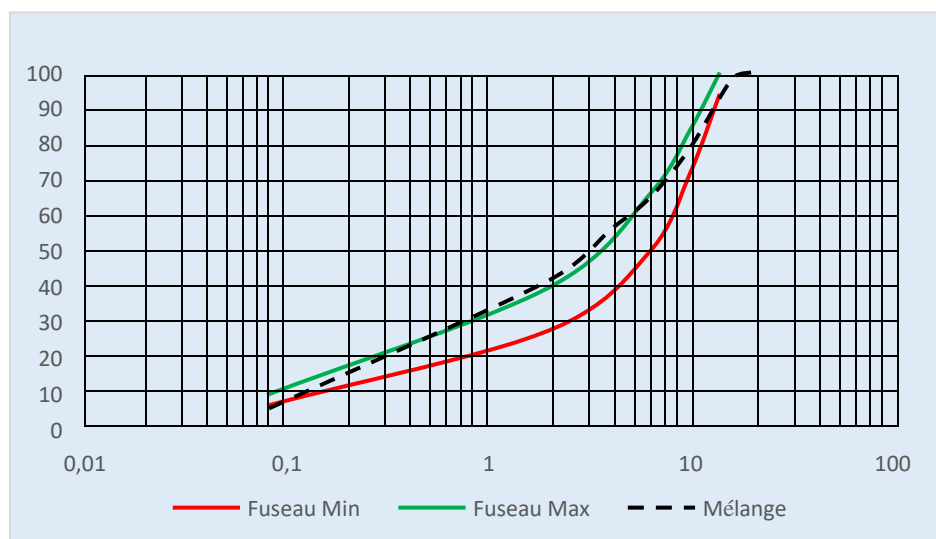


Figure IV.2 : Courbe granulométrique du deuxième prélèvement et sa position par rapport au fuseau

La courbe du mélange de deuxième prélèvement n'est pas totalement inscrite dans le fuseau

IV.6.2 Essai d'extraction au Kumagawa :

Le tableau IV. Présente les résultats d'essai *d'extraction au Kumagawa*.

Tableau IV.1 : Résultats d'essai d'extraction au Kumagawa.

N° Ordre	N° Echantillon	1	2	3
1.	Poids du filtre (g)	26,7	22,81	27,73
2.	Poids du filtre + enrobés (g)	259,5	371,85	360,24
3.	Prise d'essai (3)=(2) – (1) (g)	232,8	349,04	332,51
4.	Poids du filtre + matériau dés-enrobé (g)	247,4	353,51	343,14
5.	Poids matériau dés-enrobé $5 = 4 - 1$ (g)	220,7	330,7	315,41
6.	Poids du liant(6)=(3)–(5) (g)	12,1	18,34	17,1
7.	Teneur en liant $(6 / 5) \times 100$ (%)	5,48	5,55	5,42
8.	Moyenne (%)	5,48		

D'après les résultats de la teneur en liant mentionnés dans le tableau IV.1, on constate -après une comparaison avec la teneur d'étude (5,8%) – qu'ils sont légèrement inférieurs. Cette constatation a été prise en considération, et transférée au responsable du poste d'enrobage afin d'effectuer les corrections nécessaires de façon à respecter les pourcentages d'une façon explicite notés dans le rapport d'étude de la formulation arrêtée.

IV.6.3 Mesure de la compacité :

Les résultats obtenus sont dans le tableau IV.2

Tableau IV.2 : Résultat de compacité

N° d'ordre	Désignation	Dosages					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	N° Eprouvette						
2	Epaisseur (cm)	5,5	6,1	5,5	6,3	5,4	5,5
3	Masse de l'éprouvette (g)	468,15	519,59	432,18	516,52	456,51	461,48
4	Masse de l'éprouvette paraffinée (g)	48,515	53,622	451,07	535,26	467,8	474,05
5	Masse de la paraffine (4-3) (g)	17,75	16,63	18,89	18,74	11,29	12,57
6	Masse volumique de la paraffine (g/cm ³)	0,9					
7	Volume paraffiné : 5/6 (cm ³)	19,72	18,48	20,99	20,82	12,54	13,97
8	Masse lue de l'éprouvette paraffinée et immergée dans l'eau (g)	250,53	278,43	220,53	271,12	239,8	243,87
9	Volume brut : (4-8) (cm ³)	235,37	257,79	230,54	264,14	228	230,18
10	Volume net : (9-7)	215,65	239,31	209,55	243,32	215,46	216,21
11	Masse volumique de l'éprouvette (g/cm ³)	2,17	2,17	2,06	2,12	2,12	2,13
12	Masse volumique réelle (g/cm ³)	2,45					
13	Compacité (%)	88,57	88,57	84,08	86,53	86,53	86,94

On peut voir que la compacité mesurée par le contrôle d'enrobé bitumineux après 5 jours de fin des travaux est inférieure à celle qu'on a mesuré au laboratoire, cela est due à l'urgence de la prise des carottes. La compacité des couches de roulement va sûrement s'améliorer après mise en circulation.

IV.7 CONCLUSION :

Lors de l'exécution d'un projet de revêtement en béton bitumineux, plusieurs tâches doivent être menées à savoir l'apport des matériaux (agrégats et bitume), la confection de l'enrobé bitumineux au poste d'enrobage et la mise en œuvre du béton bitumineux sur place. Pour cela le suivi et le contrôle de ces travaux s'avèrent indispensables dans le but de vérifier la conformité des matériaux et matériels utilisés et les procédés de fabrication et de mise en œuvre.

Pour le contrôle de fonctionnement de poste d'enrobage, on a effectué deux prélèvements d'agrégats l'un à la sortie des doseurs, le deuxième et pris du tapis sur une longueur de 1m, afin de vérifier que la courbe du mélange reste toujours inscrite dans le fuseau 0/14, cela a été bien confirmé.

Le contrôle de procédé de fabrication et qualité d'enrobé s'est basé sur la température du bitume et l'enrobé bitumineux, où on a constaté que ces deux températures sont dans les normes. La vérification de la teneur en bitume de l'enrobé confectionné a été faite à plusieurs prises de prélèvements de béton bitumineux du poste d'enrobage, ensuite amenées au laboratoire où on a réalisé l'essai d'extraction au Kumagawa : les résultats de la teneur en bitume ont été proches des valeurs de la formulation d'étude.

Concernant le contrôle de la compacité et l'épaisseur de la couche de roulement, on a réalisé plusieurs carottages après 5 jours de la mise en œuvre, les carottes sont acheminées au laboratoire, où on a déterminé la densité apparente par pesée hydrostatique. Les résultats des compacités calculés sont légèrement inférieurs aux compacités visées, cela est due au fait que ces chaussées n'ont pas été mise en circulation pour améliorer le compactage de la couche de roulement.

CONCLUSION GENERALE

D'après les résultats recueilli dans ce travail, on conclut que les classes de graviers utilisés (3/8 et 8/15) dans la formulation sont acceptables du point de vue caractéristiques intrinsèques (résistance aux chocs, coefficient LA, et résistance à l'attrition en présence d'eau, MDE), d'une part, et d'autre part de fabrication (la propreté (P) et le coefficient d'aplatissement (A)) pour une utilisation dans la confection d'un Béton Bitumineux BB 0/14 destiné aux couches de roulement.

Concernant l'analyse granulométrique des trois classes constituant le mélange granulaire, on a abouti à des pourcentages de telle façon que la courbe du blanc soit inscrit dans le fuseau granulaire 0/14.

Les essais effectués sur le bitume ont donné des résultats acceptables, à savoir l'essai de pénétrabilité, point de ramollissement et la densité relative

La recherche de la formulation optimale de l'enrobé bitumineux est basée sur les résultats de performance mécanique de l'essai Duriez et Marshall. Les trois formulations étudiées avec des teneurs en bitume de 5,2 - 5,5 et 5,8% ont donné de bons résultats en ce qui concerne l'essai Duriez, à savoir la résistance des éprouvettes conservées à l'air libre ($R > 70$ bars), ainsi que le rapport immersion (r/R). Les résultats de l'essai Marshall ont révélé à des valeurs acceptables de fluage et de compacité pour les trois formulations étudiées, mais la stabilité Marshall a été acceptable seulement pour la troisième formulation avec une teneur en bitume de 5,8 qui sera retenue.

Pour le contrôle de fonctionnement de poste d'enrobage, on a confirmé que la courbe du mélange reste toujours inscrite dans le fuseau 0/14

Au contrôle de procédé de fabrication et qualité d'enrobé s'est basé sur deux vérification l'une de température de l'enrobé et du bitume où on a constaté qu'ils sont dans les normes, et l'autre de teneur en bitume de l'enrobé où on a trouvé des résultats décalés de presque de 0,3% de moins, une remarque qui a été signalée afin de rattraper ce manque pour le reste de la confection de l'enrobé bitumineux au sein du piste d'enrobage.

Concernant le contrôle de la compacité et l'épaisseur de la couche de roulement, les résultats des compacités calculés sont légèrement inférieurs aux compacités visées, cela est due au fait que ces chaussées n'ont pas été mise en circulation pour améliorer le compactage de la couche de roulement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] SIDIBE AISSATA, HAMADI HOUSSAM : « Amélioration du béton bitumineux Par des polymères issus du recyclage », mémoire de master en génie civil, Présenté à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma, septembre 2020.
- [2] l'Université 8 Mai 1945 de Guelma, septembre 2020.
- [3] Malick DIAKHATE : « Fatigue et comportement des couches d'accrochage dans les structures de chaussée », thèse de Doctorat en génie civil, université de LIMOGES, 29 octobre 2007
- [4] BOUKRA BETTAYEB Oussama, ALLAOUI Kenza: « Formulation et Caractéristique d'un Béton Bitumineux à base des Matériaux d'Adrar », mémoire de master en génie civil, Présenté à l'Université d'Adrar, juillet 2019.
- [5] ROUTES, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, www.GenieCivilPDF.com
- [6] Baba Mohammed Elamin : « Etude de formulation d'un béton bitumineux semi-grenu BBSG 0/14 pour couche de roulement : Cas de granulats d'Adrar », mémoire de master en génie civil, Présenté à l'Université d'Adrar, en 2021.
- [7] VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS EN BÉTON (Tome 1) - Conception et dimensionnement
- [8] Amani Abdelkader : « Modèles de chaussée routière », mémoire de master en génie mécanique, Université de Blida1, en 2017.
- [9] Dr. Ezéchiel I. ALLOBA, Dr. François de Paule CODO : cours de routes, Cycle De Formation Des Licence Professionnelle (LIPRO) en Génie Civil, en 2020.
- [10] FETHIZA ALI Boubaker : « Contribution à l'Étude du Comportement des Bitumes Modifiés par l'Association du NBR et de Déchets Plastiques », thèse de Doctorat en génie civil, université de USTHB, 2021.
- [11] Cours Matériaux De Construction, CHAPITRE II: LES GRANULATS
- [12] DJABRI Alla, HAMMANA Abdelhalim : « caractérisation des enrobes bitumineux recycles », mémoire de master en génie civil, Université de Tébessa, en 2016.
- [13] Les enrobés, Les matériaux de revêtement, pays de gâtine, 2011
- [14] A. BOUMADIANE : [Ingénieur Expert routier] « Les bétons bitumineux, Formulation; Exécution; Contrôle de qualité » (Le Laboratoire d'Expertise d'Essais et d'Etudes L3E).
- [15] Akacem Mustapha, Zentar Rachidb, Moulay Omar Hassana, Mekerta Belkacem : « Effet d'ajout de sable de dunes sur les performances mécaniques du béton bitumineux semi-grenu BBSG en zones arides : Cas de la région d'Adrar », Séminaire National sur les Eco-Matériaux et Conception des Eco-Structures SNEMCES'21, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed BOUDIAF, Département de Génie Civil, Oran-Algérie, 03 Avril 2021.

[16] PROTOCOLE DE CONTROLE, Travaux d'Entretien sur Chaussées et Dépendances,

ANNEXES

Annexe 1 Essai d'analyse granulométrique

Annexe 2 Essai d'aplatissement

Annexe 3 Essai d'équivalent de sable

Annexe 4 Essai de Los Angeles

Annexe 5 Essai de Micro-Deval

Annexe 6 Essai de TBA

Annexe 7 Essai de pénétrabilité à l'aiguille

Annexe 8 Essai de densité relative

Annexe 9 Essai d'extraction au Kumagawa

Annexe 10 Essai d'étalonnage

Annexe 11 Essai de compacité

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

COMPOSITION DE BETON

(sable)

- ANALYSE GRANULOMETRIQUE NF P 18-554 Décembre 1990
- MASSES VOLUMIQUES MODE OPERATOIRE COURS DE LABORATOIRE R.LAUCHON BTS.DUT
- ÉQUIVALENT DE SABLE NF P 18-598 Octobre 1991

Structure : ... ANT ADRA
 N° Dossier interne : ... E11.122 (a.3)
 Classe granulométrique : ... Sable 0/3 ...

Lieu de travail :

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Prise d'essai : ... ADRA
 Équipements utilisés : ... Tamis & Balance ...

Opérateur :

N° D'inventaire : ... 2007015037 ...

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulés	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10					
8					
6.3		0	0	100	100
5	0	67	6.73	93.17	93
2.5	67	103	40.30	59.70	60
1.25	336	614	61.31	38.69	39
0.63	211	742	74.17	25.83	26
0.315	128	832	83.18	16.82	17
0.160	90	924	92.36	7.64	8
0.080	92				

L'Opérateur

MASSES VOLUMIQUES

Opérateur :

Équipements utilisés : Récipient + Tamis

N° D'inventaire :

Masse volumique apparente :

- Volume du récipient $V = \dots 2.1 \dots$
- Poids $P = 2285$
- $P_1 + T = 5440$, $P_1 = \dots 3151 \dots$
- $P_2 + T = 5433$, $P_2 = 3144$
- $P_3 + T = 5447$, $P_3 = \dots 3152 \dots$
- $P_4 + T = 5448$, $P_4 = \dots 3152 \dots$
- Poids moyen $M = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 = \dots 3151.5 \dots$
- Masse volumique apparente $P/V = \dots 1.57 \dots$

Masse volumique absolue :

- Poids des agrégats secs $P_1 = \dots 3.25 \dots$
- Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 1479.2$
- $P_3 = P_1 + P_2 = \dots 17.79 \dots$
- Poids récipient + agrégats + eau =
- $P_4 = 1626.1$
- Volume des agrégats $V = P_3 - P_2 = \dots 113.1 \dots$
- Masse volumique absolue $P_1/V = \dots 2.65 \dots$

L'Opérateur

ÉQUIVALENT DE SABLE

Opérateur :

Équipement utilisé :

N° d'inventaire :

	Échantillon n° 1		Échantillon n° 2		Échantillon n° 3	
	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2
Hauteur totale H1(cm)	17,5	17,7				
Hauteur de sable H2(cm)	9,1	9,9				
$ES = \frac{H2}{H1} \times 100$	52	55,93				
ES moyen (%)	53,97					
Observation						

L'Opérateur

Visa du responsable

COMPOSITION DE BETON

(AGREGATS)

- ANALYSE GRANULOMETRIQUE NF P 18-554 Décembre 1990
- MASSES VOLUMIQUES MODE OPERATOIRE COURS DE LABORATOIRE R.LAUCHON BTS.DUT
- ESSAI DE PROPETE NF P 18-591 SEPTEMBRE 1990
- ESSAI D'ABSORPTION D'EAU NF P 18-554 Décembre 1990

Structure : ANF ADRAR
 N° Dossier interne : F.11.01/22
 Classe granulométrique : 3/8

Lieu de travail :

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Prise d'essai : 1.4.22

Opérateur :

Équipements utilisés :

N° D'inventaire :

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulés	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10					
8	0	0	0	100	100
6.3	123	123	7,69	92,31	92
5	175	598	37,40	62,60	63
2.5	969	1567	97,99	2,002	2
1.25	32	1599	100	0	0
0.63					
0.315					
0.160					
0.080					

L'Opérateur

MASSES VOLUMIQUES

Opérateur :
 Équipements utilisés :

N° D'inventaire :

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V = \dots 5.6 \dots$
 Poids $P = 69.15$
 $P_1 + T = 1315.5$, $P_1 = 7.040$
 $P_2 + T = 1397.0$, $P_2 = 7.055$
 $P_3 + T = 1396.0$, $P_3 = 7.045$
 $P_4 + T = 1395.8$, $P_4 = 7.043$
 Poids moyen $M = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 = 7.04575$
 Masse volumique apparente $P/V = 1.141$

Masse volumique absolue :

- Poids des agrégats secs $P_1 = 3.00$
 - Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 14.79, 2$
 $P_3 = P_1 + P_2 = 17.79, 2$
 - Poids récipient + agrégats + eau = 1664.1
 $P_4 = 1664.1$
 - Volume des agrégats $V = P_3 - P_2 = 11.54$
 - Masse volumique absolue $P_1/V = 2.61$

L'Opérateur

ESSAI DE PROPETE SUPERFICIELLE

Opérateur :
 Équipements utilisés :

N° D'inventaire :

	Classe ... 3.18 ...	Classe ... 1 ...	Classe ... 1 ...
Poids humide échantillon P1 (g)	800		
Poids sec échantillon P2 (g)	787,9		
Propreté P(%) = $[(P_1 - P_2) / P_2 \times 100]$	1,54		

L'Opérateur

ESSAI D'ABSORPTION D'EAU

Opérateur :
 Équipements utilisés :

N° D'inventaire :

Masse sèche du refus au tamis 4 mm : $M_s =$	$M_s = 191,8$	(g)
Masse d'échantillon imbibé dans l'air : $M_a =$	$M_a = 200,1$	(g)
$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$	$Ab = 4,215$	(%)

L'Opérateur

Visa du responsable

COMPOSITION DE BETON

(AGREGATS)

- ANALYSE GRANULOMETRIQUE NF P 18-554 Décembre 1990
- MASSES VOLUMIQUES MODE OPERATOIRE COURS DE LABORATOIRE R.LAUCHON BTS.DUT
- ESSAI DE PROPETE NF P 18-591 SEPTEMBRE 1990
- ESSAI D'ABSORPTION D'EAU NF P 18-554 Décembre 1990

Structure :
 N° Dossier interne :
 Classe granulométrique : 3/15

Lieu de travail :

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Prise d'essai : 14.09.92

Opérateur :

Équipements utilisés :

N° D'inventaire :

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulés	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16	224	224	5,60	94,40	94
12.5	2118	2342	58,58	41,42	41
10	1181	3523	88,13	11,87	12
8	469	3932	98,36	1,64	2
6.3	63	3995	99,93	0,07	0
5	27	3997,7	100	0	0
2.5					
1.25					
0.63					
0.315					
0.160					
0.080					

L'Opérateur

CLASSES VOLUMIQUES

Opérateur :

Équipements utilisés :

N° D'inventaire :

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V = 1,12$
 Poids $P = 75,94$
 $P_1 + T = 223,12$ $P_1 = 147,18$
 $P_2 + T = 222,94$ $P_2 = 147,00$
 $P_3 + T = 223,05$ $P_3 = 147,11$
 $P_4 + T = 223,12$ $P_4 = 147,16$
 Poids moyen $M = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 = 147,1125$
 Masse volumique apparente $P/V = 131,35$

Masse volumique absolue :

- Poids des agrégats secs $P_1 = 39,9$
 - Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 147,12$
 - $P_3 = P_1 + P_2 = 187,02$
 - Poids récipient + agrégats + eau = $166,7$
 - $P_4 = 166,7$
 - Volume des agrégats $V = P_3 - P_4 = 1,12$
 - Masse volumique absolue $P_1/V = 35,62$

L'Opérateur

ESSAI DE PROPETE SUPERFICIELLE

Opérateur :

Équipements utilisés :

N° D'inventaire :

	Classe 8.1.15	Classe/.....	Classe/.....
Poids humide échantillon P1 (g)	800		
Poids sec échantillon P2 (g)	793,7		
Propreté P(%) = $[(P1 - P2) / P2 \times 100]$	0,784		

L'Opérateur

ESSAI D'ABSORPTION D'EAU

Opérateur :

Équipements utilisés :

N° D'inventaire :

Masse sèche du refus au tamis 4 mm : $M_s =$	$M_s = 198$ (g)
Masse d'échantillon imbibé dans l'air : $M_a =$	$M_a = 200,1$ (g)
$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$	$Ab = 1,06$ (%)

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

COEFFICIENT D' APLATISSEMENT
NFP-18 561 Septembre 1990

Structure : ... Antenne A.D.R.A.R.
 N° Dossier interne :
 Echantillon : 3/3
 Équipements utilisés :

Lieu de travail :
 Date :
 Opérateur :
 N° D'inventaire :

TAMISAGE SUR TAMIS		TAMISAGE SUR GRILLES		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (g)	(Me/Mg)*100
31.5		20		
25		16		
20		12.5		
16		10		
12.5		8		
10		6.3		
8		5		
6.3	123	4	43	34.96
5	475	3.15	172	36
4	535	2.5	194	36.26
M = Σ Mg 1133		Σ Me = 409		
$A = \frac{\Sigma M_e}{\Sigma M_g} \times 100 = 36.01$				

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

COEFFICIENT D' APLATISSEMENT
NFP-18 561 Septembre 1990

Structure : ... ANT AORAR
 N° Dossier interne :
 Echantillon : ... SIAS
 Équipements utilisés :

Lieu de travail :
 Date :
 Opérateur :
 N° D'inventaire :

TAMISAGE SUR TAMIS		TAMISAGE SUR GRILLES		
Classes granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (g)	(Me/Mg)*100
31.5		20		
25		16		
20		12.5		
16	224	10	15	6.7
12.5	2118	8	276	13.03
10	1181	6.3	192	16.26
8	409	5	49	11.98
6.3	63	4	8.1	12.86
5	2.7	3.15		
4		2.5		
M = Σ Mg = 3997.7		Σ Me = 540.1		
$A = \frac{\Sigma M_e}{\Sigma M_g} \times 100 = 13.51$				

L'Opérateur

Visa du responsable



مخبر الأشغال العمومية في جنوب
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE DE PAILLASSE
ÉVALUATION DES FINES - ÉQUIVALENT DE SABLE
NF EN 933-8+A1: 2015

Structure	ANT ADRAR	N° Dossier	01/ET/2022
Lieu de travail	S-I	Échantillon	Sable 93

Vérification des équipements (étalonnage, vérification en état)	Équipement	N° Inventaire ou N° série	Constat*	Valeur de correction**
		Thermomètre	02	C
	Étuve	L. 039-15.5-031	C	
	Balance	L. 022-15.5-037	C	
	Tamis 2 mm (2ou 4m)	70 198 17	C	
	Tamis 63µm	18 101 3 83	C	
	Agitateur	/		
	Cylindres	/	C	
	Chronomètre	/	C	
	Piston	/	C	
	Reglet	/	C	
Réactifs				
	Date de préparation de la Solution lavante	16.01.22	Produits utilisés dans la préparation de la solution lavante	
	Date d'expiration de la Solution lavante	13.02.22	produit	N° lot
	Solution lavante préparée par	Sabl. Saïd	Solution concentrée	Date d'expiration
	État de la solution lavante (*)	/	Eau distillée	13.10.22
Description de l'échantillon : sable couleur gris				

(*) : C= conforme, NC=non conforme.

(**) Important : Toutes les valeurs mentionnées doivent être corrigées par les valeurs de correction

N°	ÉTALE	EXIGENCE	VALEUR
1	Date et Heure Début D'essai16.....01.....22.....10.....12	
2	Réduire l'échantillon global	<ul style="list-style-type: none"> Par division ou quartage Si l'échantillon est prélevé sur un grave, assuré que sa teneur en eau est inférieure à 2%. 	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Tamiser l'échantillon de laboratoire	<ul style="list-style-type: none"> Tamis 2 mm ou Tamis 4 mm selon le cas Échantillon de laboratoire tamisé (≥ 2000g) 	Tamis = <u>2</u> mm. Masse Echantillon = <u>2409.7</u> g
4	Réduire l'échantillon de laboratoire tamisé	Par division ou quartage, afin d'obtenir deux sous-échantillons 1 ^{er} sous échantillon ≥ 1500 g 2 ^{ème} sous échantillon ≥ 500 g	1 ^{er} sous échantillon <u>1891.8</u> g 2 ^{ème} sous échantillon <u>517.8</u> g
5	2 ^{ème} sous - échantillon	Mettre dans un sac fermé en plastique (identifié le sac)	<input checked="" type="checkbox"/>

6	Réduire le 1 ^{er} sous-échantillon	<ul style="list-style-type: none"> Par division ou quartage, afin d'obtenir deux prises d'essai $M_l \geq 500 \text{ g}$ et $M_h \geq 2 \times D_{max} \text{ g}$ 	M_h (1 ^{re} prise d'essai) = <u>942,6</u> g M_l (2 ^{me} prise d'essai) = <u>943,4</u> g										
7	Placer la 1 ^{re} prise d'essai « M_h » à l'étuve	<ul style="list-style-type: none"> À $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ pour les matériaux non sensibles à la chaleur À $40 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ pour les matériaux sensibles à la chaleur 	Tare : <u>08</u> Masse Tare : <u>153,5</u> g Température d'étuvage : <u>110</u> °C Heure d'étuvage : <u>10:35</u>										
8	Assurer que la masse constante « M_s » est atteinte et calculer la teneur en eau	<ul style="list-style-type: none"> La durée entre deux pesées successive (M_i et M_{i+1}) est au minimum 1 h $R = \frac{M_i - M_{i+1}}{M_i} \times 100 < 0.1 \%$ $\omega = \left[\frac{(M_h - M_s)}{M_s} \right] \times 100$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>4h</th> <th>h</th> <th>h</th> <th>h</th> <th>h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>939,6</u> g</td> <td><u>939,4</u> g</td> <td>∞</td> <td>∞</td> <td>∞</td> </tr> </tbody> </table> $R =$ <u>0,02</u> (%) $M_s =$ <u>939,4</u> g $\omega =$ <u>0,34</u> (%)	4h	h	h	h	h	<u>939,6</u> g	<u>939,4</u> g	∞	∞	∞
4h	h	h	h	h									
<u>939,6</u> g	<u>939,4</u> g	∞	∞	∞									
9	Laver la 2 ^{me} prise d'essai « M_l »	<ul style="list-style-type: none"> Sur tamis $63 \mu\text{m}$ jusqu'à l'eau passant à travers ce tamis soit quasiment claire 	<input checked="" type="checkbox"/>										
10	Placer le retenu du tamis $63 \mu\text{m}$ à l'étuve	<ul style="list-style-type: none"> $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ pour les matériaux non sensibles à la chaleur $40 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ pour les matériaux sensibles à la chaleur 	Tare : <u>01</u> Masse Tare : <u>2489</u> g Température d'étuvage : <u>110</u> °C Heure début d'étuvage : <u>10:42</u>										
11	Assurer que la masse constante est atteinte et calculer la teneur en fines	<ul style="list-style-type: none"> La durée entre deux pesées successive (M_i et M_{i+1}) est au minimum 1 h $R = \frac{M_i - M_{i+1}}{M_i} \times 100 < 0.1 \%$ $f(\%) = 100 - \left[\frac{M_2(100 + \omega)}{M_1} \right]$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>4h</th> <th>h</th> <th>h</th> <th>h</th> <th>h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>200,78</u> g</td> <td><u>200,5</u> g</td> <td>∞</td> <td>∞</td> <td>∞</td> </tr> </tbody> </table> $R =$ <u>0,019</u> (%) $M_2 =$ <u>200,5</u> g $f =$ <u>15,31</u> (%)	4h	h	h	h	h	<u>200,78</u> g	<u>200,5</u> g	∞	∞	∞
4h	h	h	h	h									
<u>200,78</u> g	<u>200,5</u> g	∞	∞	∞									
12	Déterminer la masse de la prise d'essai	<ul style="list-style-type: none"> Si $f \leq 10 \%$ $M_T = \frac{120(100 + \omega)}{100}$ au gramme près Si $f \geq 10 \%$ $M_T = M_3 + M_4$ $M_3 = \frac{1200}{f} \left(1 + \frac{\omega}{100} \right)$ <ul style="list-style-type: none"> ✓ M_3 est prélevé du sac fermé $M_4 = 120 - \frac{1200}{f}$ <ul style="list-style-type: none"> ✓ M_4 est prélevé du retenu du tamis $63 \mu\text{m}$ après étuvage 	$M_T =$ _____ g $M_3 =$ <u>72,65</u> g $M_4 =$ <u>41,62</u> g $M_T =$ <u>120,27</u> g										

13	Détermination de la valeur de l'équivalent de sable	Vérifier la température ambiante	$23 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	Température ambiante = <u>20</u> $^\circ\text{C}$		
14		Préparer les deux prises d'essai		1 ^{ère} Prise d'essai $M_T = \underline{120,3} \text{ g}$	2 ^{ème} Prise d'essai $M_T = \underline{120,3} \text{ g}$	
15		Verser la solution lavante dans chaque cylindre	Jusqu'au premier trait repère	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16		Verser la prise d'essai dans chaque cylindre et laisser chaque cylindre se reposer	<ul style="list-style-type: none"> Laisser un intervalle de 3 min entre les deux cylindres Taper le fond de cylindre à plusieurs reprises avec la paume de la main afin d'éliminer les bulles d'air. Temps de repos : $10 \pm 1 \text{ min}$ 	Heure départ : <u>11 H 00</u> min Heure fin : <u>11 H 10</u> min	Heure départ : <u>11 H 39</u> min Heure fin : <u>11 H 49</u> min	
17		Boucher chaque cylindre et le fixer sur la machine d'agitation.	Temps d'agitation : $(30 \pm 1) \text{ sec}$	Temps d'agitation : _____ sec	Temps d'agitation : _____ sec	
18		Replacer le cylindre sur la table de travail	En position verticale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19		Rincer le bouchon et les parois de cylindre Jusqu'au deuxième trait. Noter le temps de la fin d'opération	<ul style="list-style-type: none"> Tout le matériau retombe dans le cylindre. Enfoncer le jusqu'à atteindre le fond du cylindre avec une lente rotation de cylindre et une remontée régulière. 	Heure : <u>11 H 12</u> min	Heure : <u>11 H 50</u> min	
20		Laisser chaque cylindre se repose	Pendant $20 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$	Heure de fin : <u>11 H 32</u> min	Heure de fin : <u>12 H 10</u> min	
21		mesurer les hauteurs h_1 et h_2	<ul style="list-style-type: none"> h_1 à l'aide du réglet h_2 à l'aide du piston et réglet 	$h_1 = \underline{17,5} \text{ mm}$ $h_2 = \underline{9,1} \text{ mm}$	$h_1 = \underline{17,7} \text{ mm}$ $h_2 = \underline{9,9} \text{ mm}$	
22		Calculer les rapports	<ul style="list-style-type: none"> $(h_2/h_1) \times 100$ La différence entre les deux rapports ≤ 4 	$(h_2/h_1) \times 100 = \underline{52} \%$	$(h_2/h_1) \times 100 = \underline{55,93} \%$	
23		Calculer l'équivalent de sable	« SE (10) » ou « SE ₄ » = Moyenne des rapports	SE..... = <u>53,97</u> %		
24		Date et heure de fin d'essai	<u>17.01.22 12h15</u>			

Observation :

Nom et Prénom du Technicien : _____ Visa : _____

Nom et Prénom du Contrôleur : _____	Contrôle et vérification		oui	non
Date : _____	Qualification du technicien			
Visa : _____	Renseignement correct			
	Vérification du matériel			
	Calcul correct			



FEUILLE DE PAILLASSE
DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA FRAGMENTATION
METHODE LOS ANGELES
NF EN 1097 - 2: 2020

Structure	Antenne ADRAR	N° Dossier	
Lieu de travail	Salle identificato	Echantillon	gravier 3/8

Verification des équipements (étalonnage, vérification et état)	Equipement	N° Inventaire ou série	Constat	Valeur de correction
	Étuve	L.039.15.S.031	C	
	Balance	L.022.15.S.040	C	
	Tamis 6,3 mm	7019025	C	
	Tamis 5 mm	7013664	C	
	Tamis 4 mm	7013677	C	
	Tamis 1,6 mm		C	
	Machine los Angeles	L.018.15.S.008	C	
Boulets d'acier		C		

Description de l'échantillon :

(*) : C= conforme, NC=non conforme.

(**) Important : Toutes les valeurs mentionnées doivent être corrigées par les valeurs de correction.

N°	ETAPE	EXIGENCE	VALEUR	
1	Date et Heure Début D'essai	23-03-2022 11:30		
2	Tamiser l'échantillon selon la classe pour obtenir deux fractions (cocher la classe de l'échantillon)	Fraction 1 : 10/12.5 Fraction 2 : 12.5/14	Fraction 1 : 415 $M_1 = 42.00 \dots g$ $\geq 4000 g$ Fraction 2 : 5167 $M_2 = 42.00 \dots g$ $\geq 4000 g$	
		Fraction 1 : 10/11.2 Fraction 2 : 11.2/14		
		Fraction 1 : 11.2/14 Fraction 2 : 14/16		
		Fraction 1 : 8/10 Fraction 2 : 10/11.2		
		Fraction 1 : 6.3/8 Fraction 2 : 6.3/10		
		Fraction 1 : 4/5 Fraction 2 : 5/6.3		
		Fraction 1 : 4/6.3 Fraction 2 : 6.3/8		
		Fraction 1 : 16/22.4 Fraction 2 : 22.4/31.5		
3	Laver chaque fraction	Sur le tamis de dimension nominale minimale de la fraction.	Fraction 1 $\emptyset = \dots mm$	Fraction 2 $\emptyset = \dots mm$
4	Placer les deux fractions à l'étuve	<ul style="list-style-type: none"> - à $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les matériaux non sensibles à la chaleur - à $40 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les matériaux sensibles à la chaleur 	Température d'étuvage : 110 $^\circ\text{C}$	

6	Assurer que la masse constante est atteinte	$R = \frac{M_t - M_{t+1h}}{M_t} \times 100 \leq 0.1 \%$	Temps					
			h	h	h	R		
			Fraction 1	4 005,1	4 005,1	0		
			Fraction 2	4 096,4	4 096,4	0		
Rapport		M _{F1} = 4 005,1 g M _{F2} = 4 096,4 g						
7	Refroidir et mélanger les deux fractions (fraction 1+ fraction 2) selon les proportions	Fraction		Tamis inter				
		10/14	12,5	60 %	40 %	Fraction 1 : 1115 g M ₁ = 2 000 g Fraction 2 : 5116,3 g M ₂ = 3 000 g		
		11,2/16	14	40 %	60 %			
		8/11,2	10	60 %	40 %			
		6,3/10	8	40 %	60 %			
		4/6,3	5	40 %	60 %			
		3/4,8	4	60 %	40 %			
1,6/3,15	2,4	50 %	50 %					
8	Réduire cet échantillon provenant du mélange en prise d'essai par diviseur ou quartage	La prise d'essai = 5000 ± 5 g				M = 5000 g		
		Classe		Nombre des boulets		Charge d'abrasive		
9	Introduire les boulets dans la machine selon la classe	10/14	11	4690 à 4860		Nombre des boulets = 7 Boulets La charge abrasive = g		
		11,2/16	12	5120 à 5300				
		8/11,2	10	4250 à 4420				
		6,3/10	9	3840 à 3980				
		4/6,3	7	2930 à 3100				
		3/4,8	8	3410 à 3540				
10	Introduire la prise d'essai dans le tombeur et régler le nombre des tours et démarrer la machine	500 tours				✓		
12	Récupérer le matériau et tamiser par lavage sur tamis 1.6 mm	jusqu'à ce que l'eau passant à travers le tamis soit quasiment claire				✓		
13	Placer le retenu du tamis 1.6 mm à l'étruve	- 110 °C ± 5 °C pour les matériaux non sensibles à la chaleur - 40°C ± 5 °C pour les matériaux sensibles à la chaleur				Température d'étuvage : 110 °C		
14	Assurer que la masse constante est atteinte. Noter m (g)	$R = \frac{m_t - m_{t+1h}}{m_t} \times 100 \leq 0.1 \%$	h					
			h	h	62h	69h		
		R = 0 (%)		m = 4301,2 g				
15	Calculer le coefficient Los Angeles	$LA = \frac{5000 - m}{50}$		LA = 13,98 %				
16	Date et Heure Fin D'essai	27-03-2022 10:14						

Nom et Prénom du Technicien : _____ Visa : _____

Nom et Prénom du Contrôleur : _____ Date : _____ Visa : _____	Contrôle et vérification		oui	non
	Qualification du technicien			
	Renseignement correct			
	Vérification du matériel			
	Calcul correct			



FEUILLE DE PAILLASSE
DÉTERMINATION DE LA RÉSISTANCE A LA FRAGMENTATION
POUR GRANULATS ET GRANULATS RECYCLES
 ↳ MÉTHODE LOS ANGELES ↳
 (NF EN 1097 - 2: 2020)

Structure	Antenne ADRP	N° Dossier	
Lieu de travail	salle identification	Échantillon	gravier 8/15

Vérification des équipements (étalonnage, vérification et état)	Équipement	N° Inventaire ou série	Constat*	Valeur de correction**
	Étuve	L.039.15.S.031	C	
	Balance	L.022.15.S.049	C	
	Tamis 14 mm		C	/
	Tamis 12.5 mm	7013710	C	
	Tamis 10 mm	7013692	C	
	Tamis 1,6 mm	7010363	C	
	Machine Los Angeles	L048.15.S.008	C	
	Boulets d'acier		C	

Description de l'échantillon :

(*) : C= conforme, NC=non conforme.

(**) Important : Toutes les valeurs mentionnées doivent être corrigées par les valeurs de correction.

N°	ÉTAPE	EXIGENCE	VALEUR	
1	Date et Heure Début d'essai	23 - 03 - 2022	11 : 45	
2	Réduire l'échantillon global	• Par division ou quartage	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Tamiser l'échantillon selon la classe pour obtenir deux fractions (cocher la classe de l'échantillon)	10/14	Fraction 1 : 10/12.5 Fraction 2 : 12.5/14	Fraction 1 : 10/12.5 M ₁ = 4.500... g ≥ 4000 g Fraction 2 : 12.5/14 M ₂ = 4.300... g ≥ 4000 g
		11.2/16	Fraction 1 : 11.2/14 Fraction 2 : 14/16	
		8/11.2	Fraction 1 : 8/10 Fraction 2 : 10/11.2	
		6.3/10	Fraction 1 : 6.3/8 Fraction 2 : 6.3/10	
		4/6.3	Fraction 1 : 4/5 Fraction 2 : 5/6.3	
		4/8	Fraction 1 : 4/6.3 Fraction 2 : 6.3/8	
		16/31.5 Granulat recyclé (GR)	Fraction 1 : 16/22.4 Fraction 2 : 22.4/31.5	
4	Laver chaque fraction	Sur le tamis de dimension minimale de la fraction	Fraction 1 Ø = ___ mm	Fraction 2 Ø = ___ mm
5	Placer les deux fractions à l'étuve	<ul style="list-style-type: none"> à 110 °C ± 5 °C pour les matériaux non sensibles à la chaleur à 40°C ± 5 °C pour les matériaux sensibles à la chaleur 	Température d'étuvage : 110 °C Heure début d'étuvage : _____	

6	Assurer que la masse constante est atteinte	$R = \frac{M_i - M_{i+1}}{M_i} \times 100 < 0.1 \%$ - Enregistrer la première masse après 1h d'étuvage au minimum	Temps	4h	___ h	___ h	R			
			Fraction 1		4235,2	4295,2	0			
			Fraction 2		4045,7	4045,7	0			
			$M_{F1} = 4295,2 \text{ g}$ $M_{F2} = 4045,7 \text{ g}$							
7	Refroidir et mélanger les deux fractions (fraction 1+ fraction 2) selon les proportions	Fraction	Tamis inter.	1	2	Fraction 1 : 10/12,5 $M_1 = 3000 \text{ g}$ Fraction 2 : 12/14 $M_2 = 2000 \text{ g}$				
		10/14	12.5	60 %	40 %					
		11.2/16	11.2	40 %	60 %					
		8/11.2	14	60 %	40 %					
		6.3/10	10	40 %	60 %					
		4/6.3	8	60 %	40 %					
		4/8	5	40 %	60 %					
16/31.5 (GR)	6.3	60 %	40 %							
8	Réduire cet échantillon provenant du mélange en prise d'essai par diviseur ou quartage	La prise d'essai = 5000 ± 5 g					M = 5000 g			
9	Introduire les boulets dans la machine selon la classe	Classe	11.2/16	10/14	8/11.2	6.3/10	4/8	4/6.3	16/31.5 GR	Nombre des boulets = _____ Boulets La charge abrasive = _____ g
		Nombre des boulets	12	11	10	9	8	7	14	
		Charge d'abrasive	5120 à 5300	4690 à 4860	4250 à 4420	3840 à 3980	3410 à 3540	2930 à 3100	5810 à 6010	
10	Introduire la prise d'essai dans le tombeur et régler le nombre des tours et démarrer la machine	500 tours							<input checked="" type="checkbox"/>	
11	<u>Récupérer le matériau, tamiser sur tamis 1.6 mm</u>	<ul style="list-style-type: none"> La différence entre deux pesées : < 1% pendant 1 min de tamisage $R = \frac{1^{ere} \text{ pesée} - 2^{eme} \text{ pesée}}{1^{ere} \text{ pesée}} \times 100 < 1\%$ 						1 ^{er} pesée (g)	2 ^e pesée (g)	Rapport
12	Laver le matériau recueilli sur tamis 1.6 mm	Jusqu'à ce que l'eau passant à travers le tamis soit quasiment claire						<input checked="" type="checkbox"/>		
13	Placer le retenu du tamis 1.6 mm à l'étuve	<ul style="list-style-type: none"> 110 °C ± 5 °C pour les matériaux non sensibles à la chaleur 40°C ± 5 °C pour les matériaux sensibles à la chaleur 						Température d'étuvage : 110 °C Heure début d'étuvage : _____		
14	Assurer que la masse constante est atteinte. Noter m (g)	$R = \frac{m_i - m_{i+1}}{m_i} \times 100 < 0.1 \%$ <ul style="list-style-type: none"> Enregistrer la première masse après 1h d'étuvage au minimum 	4h	___ h	___ h	___ h	$R = \text{_____} (\%)$ $m = 4417,5 \text{ g}$			
									LA = 11,65 %	
15	Calculer le coefficient Los Angeles	$LA = \frac{5000 - m}{50}$					LA = 11,65 %			
16	Date et Heure Fin D'essai	27.03.2022 . 11:00								

Nom et Prénom du Technicien : _____ Visa : _____	Observation : _____
---	---------------------

Nom et Prénom du Contrôleur : _____ Date : _____ Visa : _____	Contrôle et vérification		oui	non
	Qualification du technicien			
	Renseignement correct			
	Vérification du matériel			
	Calcul correct			

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

RESISTANCE A L'USURE – ESSAI MICRO DEVAL

NA 5129 | EN 1097 – 1

Structure : ... Antenne A.D.R.A.R.

Lieu de travail : ... Salle identification

N° Dossier interne :

Date : ... 23.03.2022

Appareille Micro Deval N° Inv : ... L.049.155.008

Opérateur :

Etuve N.Inv : ... L.039.155.031

Balance N.Inv : ... L.22.155.049

Classe granulaire	Tamis Intermédiaire	Proportions (%)		Poids totale de mélange des proportions M (g)	Refus de tamis 1.6 mm m (g)	MDE = 100 × $\left(\frac{M-m}{M}\right)$
		Fraction 1	Fraction 2			
4/6,3	5	40	60	500 g	378,7	24,24
10/14	12,5	60	40	500	403,8	19,24

Observation :	Tamis	N° Série
	1,60 mm	
	8,00 mm	
	14,0 mm	
	12,5 mm	
	10,0 mm	
	6,30 mm	
	4,00 mm	

L'Opérateur

Visa du responsable

F-5-5m.04



مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

دبيرة التقنية

DIRECTION TECHNIQUE

FEUILLE DE PAILLASSE
DETERMINATION DE LA POINT DE RAMOLLISSEMENT
NA 2617: 2006 | EN 1427: 1999

DOSSIER INTERNE N° :
ECHANTILLON N° :

DATE DE L'ESSAI : 18.04.2022
CHARGE DE L'ESSAI :

DESIGNATIONS	Lecture	Exigences de la norme
1-Heure de prélèvement & Début de l'essai	✓	l'échantillon de laboratoire
2- Etuvage : Chauffer l'échantillon en l'agitant et en évitant les surchauffes locales jusqu'à ce qu'il soit assez fluide pour être versé, et éviter l'introduction d'air dans l'échantillon	Bitume attendu : 40X 0 Température : 140°C	à une température à l'environ de 90 °C au-dessus de la température de ramollissement attendu.
3- Temps écoulé pour liquéfier le bitume	Heure : 8H30 Durée : 2H	
4- Homogénéiser l'échantillon et la température de l'échantillon liquéfié	Température : 130°C	
5- Chauffer les deux anneaux de laiton, mais pas la plaque de coulage.	✓	
6- Enduire la plaque de coulage avec un produit anti - adhésif.	✓	Un mélange de glycérine et de dextrine, ou autre produit anti - adhésif
7-Poser les deux anneaux sur la plaque.	✓	
8-Verser l'échantillon dans les deux anneaux, avec une quantité légèrement excédentaire dans les deux anneaux,	✓	
9-Laisser refroidir pendant 30 min au moins.	Heure Début : 10H40 Heure Fin : 11H10	Ce temps ne doit pas entraîner une durée totale de l'essai supérieure à 240 min.
10-Après refroidissement, enlever l'excès de produit en utilisant une spatule ou couteau chauffé.	✓	
11-Assembler l'appareillage	✓	
12-Remplir le béccher avec de l'eau distillée, fraîchement bouillie, à 5°C.		Sur une hauteur de 102 à 108mm.

02/04/2017

GM-N-3e.02

13-Maintenir l'appareille assembler dans un bain marie à 5°C pendant 15 minutes	Heure Début :		11 H 15	
	Heure Fin :		11 H 30	
14-Contrôler le poids de chaque bille.	Bille 1:		✓	Il doit être de $3.5 \pm 0.05g$
	Bille 2:		✓	
15-Placer chaque bille, à l'aide d'une pince, au centre du guide.			5,50 ✓	
16- Evaluation de température	Billes	Billes 1	Billes 2	L'élévation doit être uniforme. $\pm 0,5$ sur les trois premières minutes ± 1 minute pour l'ensemble des minutes
	Heure de Début			
	1 min	6,2		
	2 min	8,1		
	3 min	9,9		
	4 min	13,5		
	5 min	18,0		
	6 min	23,9		
	7 min	28,9		
	8 min	34,4		
	9 min	39,2		
	10 min	45,7		
	11 min			
	12 min			
	13 min			
	14 min			
	15 min			
	16 min			
	17 min			
	18 min			
19 min				
20 min				
17-Noter la température à laquelle l'échantillon enveloppant la bille touche la plaque inférieure du support.	48,3	49,3		
18-Ecarts : si la différence entre les deux valeurs obtenues dans un essai double dépasse 1°C recommencer l'essai (Cas d'une Température de ramollissement inférieure à 80 °C et autre cas est disponible)	Ecart :		1°C	Les autres cas mentionné au guide méthodologique
19-Expression des résultats.	Moyenne :		48,8	

Opérateur

Visa du Responsable

02/04/2017

GM-N-3e.02

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI DÉTERMINATION DU POINT DE RAMOLLISSEMENT DES PRODUITS BITUMINEUX MÉTHODE BILLE ET ANNEAU NA 2617 | EN 1427

Structure:

Lieu de travail :

N° Dossier interne:

Date:

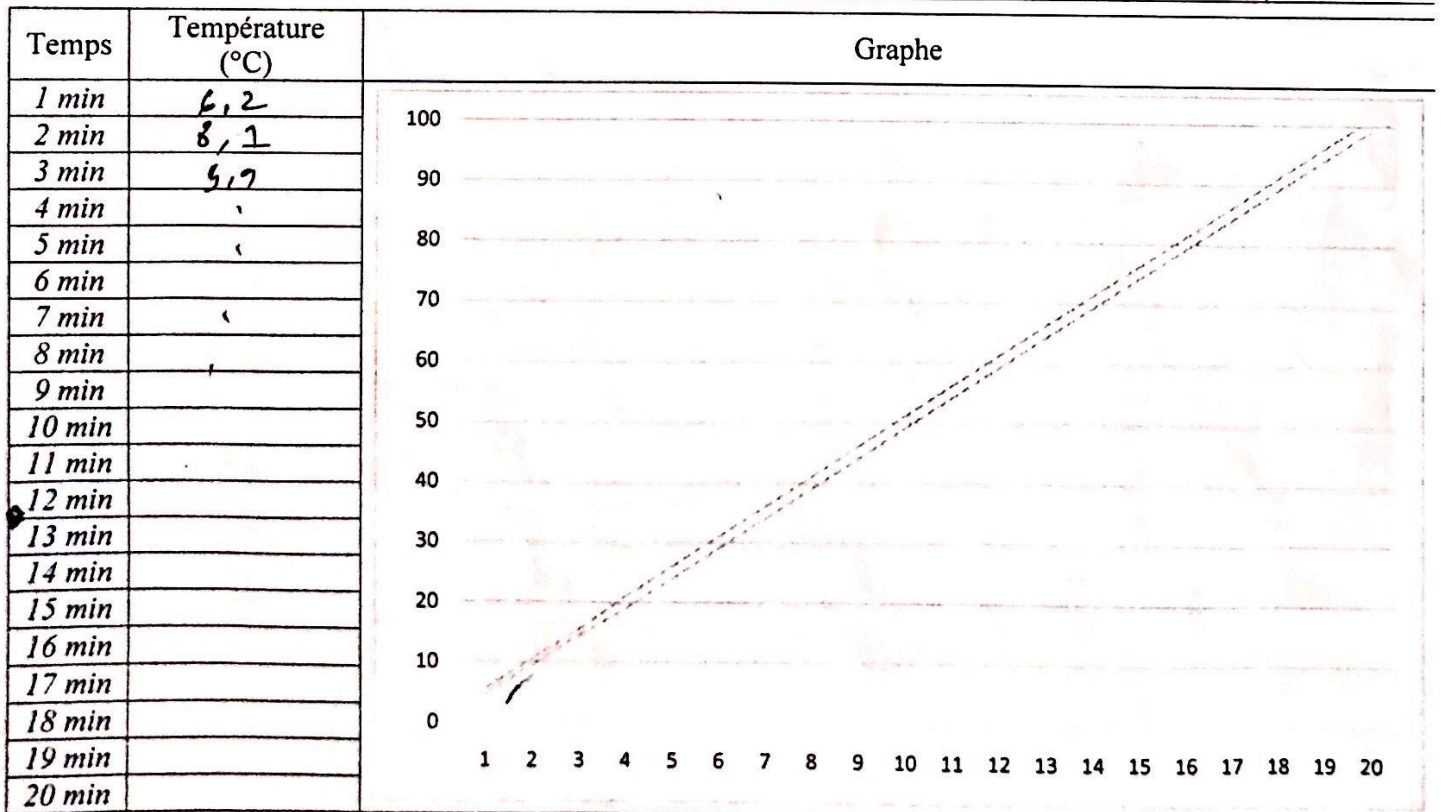
Echantillon :

Opérateur :

Bille Anneau N° Inv :

Bain Marie N° Inv:

N° Ordre		ECHANTILLON			
		Bille N°		1	2
1	Classe de bitume expecter				
2	Heure : début d'essai				
3	Temps écoulé pour liquéfier le bitume : (min)				
4	Température de l'échantillon liquéfié (°C)				
5	Durée de refroidissement des échantillons (min)				
6	Température où le bitume entourant une des deux billes touche la plaque inférieure à (0.5 °C) près				
7	Température où le bitume entourant l'autre bille touche la plaque inférieure à (0.5 °C) près				
8	Point de ramollissement à 0.5 °C près la moyenne des valeurs obtenues				
9	Heure à la fin de l'essai juste au moment où le bitume entourant la 2 ^e bille touche la plaque inférieure				
10	Durée de l'essai : (9) - (2) : (Max. 4H)				



L'Opérateur

Visa du Responsable

F-5-5w.05

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI DE PÉNÉTRABILITÉ A L' AIGUILLE DES PRODUITS BITUMINEUX NA 5192 | EN 1426

Structure: *Antenne ADRAR*

Lieu de travail: *sale noir*

N° Dossier interne :

Date: *19.04.2022*

Echantillon : *Bitume*

Opérateur :

Équipements utilisés : *Pénétrètre*

N° D'inventaire : *L.056.15.S.003*

N° tache	Echantillon				
1	Gobelet N°	1	2	1	2
2	Classe de bitume excepter	<i>40/50</i>			
3	Heure de prélèvement	<i>✓</i>			
4	Temps écoulé pour liquéfier le bitume (min)	<i>8:30</i>			
5	Heure : début de l'essai	<i>10:40</i>			
6	Température de l'échantillon liquéfié °C	<i>130°C</i>			
7	Durée de refroidissement de l'échantillon à l'air (min)	<i>30</i>			
8	Durée de refroidissement de l'échantillon dans le bain marie (min)	<i>30</i>			
9	- Masse g	<i>100</i>			
	Conditions de l'essai : - Température °C	<i>25</i>			
	- Durée Sec	<i>5</i>			
10	Pénétrabilités obtenues (1/10 mm)	<i>44,5</i>			
		<i>42,2</i>			
		<i>46,3</i>			
11	Pénétrabilité moyenne : (1/10 mm)	<i>44,5</i>			
12	Heure de fin d'essai	<i>03:00</i>			

L'Opérateur

Visa du Responsable

F-5-5x.05



مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

DIRECTION TECHNIQUE

مديرية التقنية

FEUILLE DE PAILLASSE

DETERMINATION DE LA DENSITE RELATIVE DES PRODUITS PETROLIERS

NA 5224: 1993

DOSSIER INTERNE N° : 1 DATE DE L'ESSAI : 18.04.2022
ECHANTILLON N° : Bitume CHARGE DE L'ESSAI :

Type de bitume : Bitume fluidifié & fluxé Produit concret Température de test (°C)

DESIGNATIONS		Lectures		Exigences de la norme
Tare de pycnomètre	1- Début de l'essai	Heure : 9:06		
	2- Nettoyer et sécher le pycnomètre et son bouchon	✓		
	3- Peser le pycnomètre vide avec son bouchon	A ₁ = 33,27	A ₂ =	Utiliser une balance de précision (0,001 g)
	4- Amener et fixer la température du bain à 25 °C	✓		25 °C ± 0.2 °C
	5- Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée portée à 25°			
	6- Immerger complètement le pycnomètre dans le bain pendant 30 minutes.	Heure : 9:06	Heure :	Au moins 30 minutes.
	7- Retirer le pycnomètre et enlever toute trace d'humidité à l'aide d'un chiffon propre et sec.	Heure : 9:36	Heure :	
	8- Peser le pycnomètre plein d'eau	B ₁ = 60,49	B ₂ =	
	9- Vider, nettoyer et sécher le pycnomètre			
Cas des bitumes fluidifiés et fluxés	10- Verser le produit dans le pycnomètre jusqu'à ce qu'il soit plein			La température de bitume doit être en-dessous de 25°C.
	11- Fixer solidement le bouchon et forcer l'excès de produit à passer à travers l'ouverture.			
	12- Enlever soigneusement le surplus de produit avec un chiffon.			
	13- Immerger complètement le pycnomètre dans le bain à 25 °C, pendant 30 minutes.	Heure :		25 °C ± 0.2 °C
	14- Retirer le pycnomètre	Heure :		Au moins 30 minutes
	15- Peser rapidement le pycnomètre avec son contenu	C ₁ =	C ₂ =	
	16- Expression des résultats : densité relative 25°/25° = (C - A) / (B - A)			

02/04/2017

GM-N-3f.02

Cas des produits concretes (Bitumes Purs, Bitumes Très durs ...)	10- Chauffer doucement le produit en évitant les pertes par évaporation.	Température :		113 °C
	11- Préchauffé le pycnomètre légèrement	✓		
	12- Verser le produit dans le pycnomètre jusqu'à 1/3	✓		généralement les pycnomètres sont repérés par une ligne circulaire au tour de pycnomètre
	13- Refroidir le pycnomètre et son contenu dans le bain à 25 °C et le peser avec le bouchon	C ₁ = 54,33	C ₂ = 54,44	25 °C ± 0.2 °C
	14- Retirer le pycnomètre de la balance, le remplir avec de l'eau distillée et adapter solidement le bouchon jusqu'à ce que vous voyiez que l'excès de l'eau à passer à travers l'ouverture.			
	15- Immerger complètement le pycnomètre dans le bain à 25 °C, pendant 30 minutes.	Heure : 10:30		25 °C ± 0.2 °C
	16- Retirer le pycnomètre	Heure : 11:00		Au moins 30 minutes
	17- Peser rapidement le pycnomètre avec son contenu	D ₁ = 61,16	D ₂ =	
18- Expression des résultats : densité relative $25^{\circ}/25^{\circ} = (C - A) / [(B - A) - (D - C)]$	1,03			

Chargé d'essai

Visa de chef service

02/04/2017

GM-N-3f.02

LABO+A419:ELABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

EXTRACTION KUMAGAWA

Structure : Antenne Adrar

Lieu de travail : Antenne Adrar

N° Dossier interne : 43/CG/2021

Date : 24/05/2022

Echantillon : Revêtement route 0/14 BB

Opérateur : sankikou / A

Équipements utilisés : B- Electrique

N° D'inventaire : L22-06-S-015

N° Ordre	N° Echantillon		
	N° Filtre	I	
1.	Poids du filtre (g)	22,81	
2.	Poids filtre + enrobés (g)	371,85	
3.	Prise d'essai (3)=(2) - (1) (g)	349,04	
4.	Poids du filtre + matériau désenrobé (g)	353,51	
5.	Poids matériau désenrobé 5 = 4 - 1 (g)	330,7	
6.	Poids du liant(6)=(3)-(5) (g)	18,34	
7.	Teneur en liant (6 / 5) x 100 (%)	5,55	
8.	Moyenne (%)	5,55	
9.	Observations :		

L'Opérateur

Visa du Responsable

F-5-5v;05

LABO+A419:E483RATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

EXTRACTION KUMAGAWA

Structure :Antenne Adrar

Lieu de travail :Antenne Adrar

N° Dossier interne :43/CG2021

Date :26/05/2022

Echantillon : Revêtement route 0/14 BB

Opérateur :Sahal /S

Équipements utilisés : B- Electrique

N° D'inventaire : L22-06-S-015

N° Ordre	N° Echantillon		
	N° Filtre	I	
1.	Poids du filtre (g)	26,7	
2.	Poids filtre + enrobés (g)	259,5	
3.	Prise d'essai (3)=(2) – (1) (g)	232,8	
4.	Poids du filtre + matériau désenrobé (g)	247,4	
5.	Poids matériau désenrobé $5 = 4 - 1$ (g)	220,7	
6.	Poids du liant(6)=(3)–(5) (g)	12,1	
7.	Teneur en liant $(6 / 5) \times 100$ (%)	5,48	
8.	Moyenne (%)	5,48	
9.	Observations :		

L'Opérateur

Visa du Responsable

F-5-5v;05

LABO+A419:E483RATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

EXTRACTION KUMAGAWA

Structure :Antenne Adrar

Lieu de travail :Antenne Adrar

N° Dossier interne :43/CG/2021

Date :28/05/2022

Echantillon :Revêtement route 0/14 BB

Opérateur :Sahal /S

Équipements utilisés : B- Electrque

N° D'inventaire : L22-06-S-015

N° Ordre	N° Echantillon		
	N° Filtre	I	
1.	Poids du filtre (g)	27,73	
2.	Poids filtre + enrobés (g)	360,24	
3.	Prise d'essai (3)=(2) - (1) (g)	332,51	
4.	Poids du filtre + matériau désenrobé (g)	343,14	
5.	Poids matériau désenrobé $5 = 4 - 1$ (g)	315,41	
6.	Poids du liant(6)=(3)-(5) (g)	17,1	
7.	Teneur en liant $(6 / 5) \times 100$ (%)	5,42	
8.	Moyenne (%)	5,42	
9.	Observations :		

L'Opérateur

Visa du Responsable

F-5-5v;05

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS

NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: ANTENNR ADRAR

N° Dossier interne: modlco

Classe granul: *0/4 - B B*

Prise d'essai: 8004

Equipements utilisee:

Lieu de travail: A ADRAR

Date: 26/05/2022

Opérateur: SANKIKOU A

Lieu de prélèvement:

N° Dinventaire: L51-03-02

Ouverture	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5	0	0	0,00	100,00	100
25					
20	0	0	0,00	100,00	100
16	154	154	1,92	98,08	98
12.5					
10	1775	1929	24,10	75,90	76
8					
6.3	1209	3138	39,21	60,79	61
5					
4	1077	4215	52,66	47,34	47
3.15					
2.5					
2	946	5161	64,48	35,52	36
1.60					
1.25					
1					
0.80					
0.63					
0.500					
0.400					
0.315					
0.250					
0.200					
0.160					
0.125					
0.100					
0.080	2319,1	7480,1	93,45	6,55	7

Visa du responsable

L'opérateur
A SANKIKOU

F-5-Ba-02

F-5-5p.02

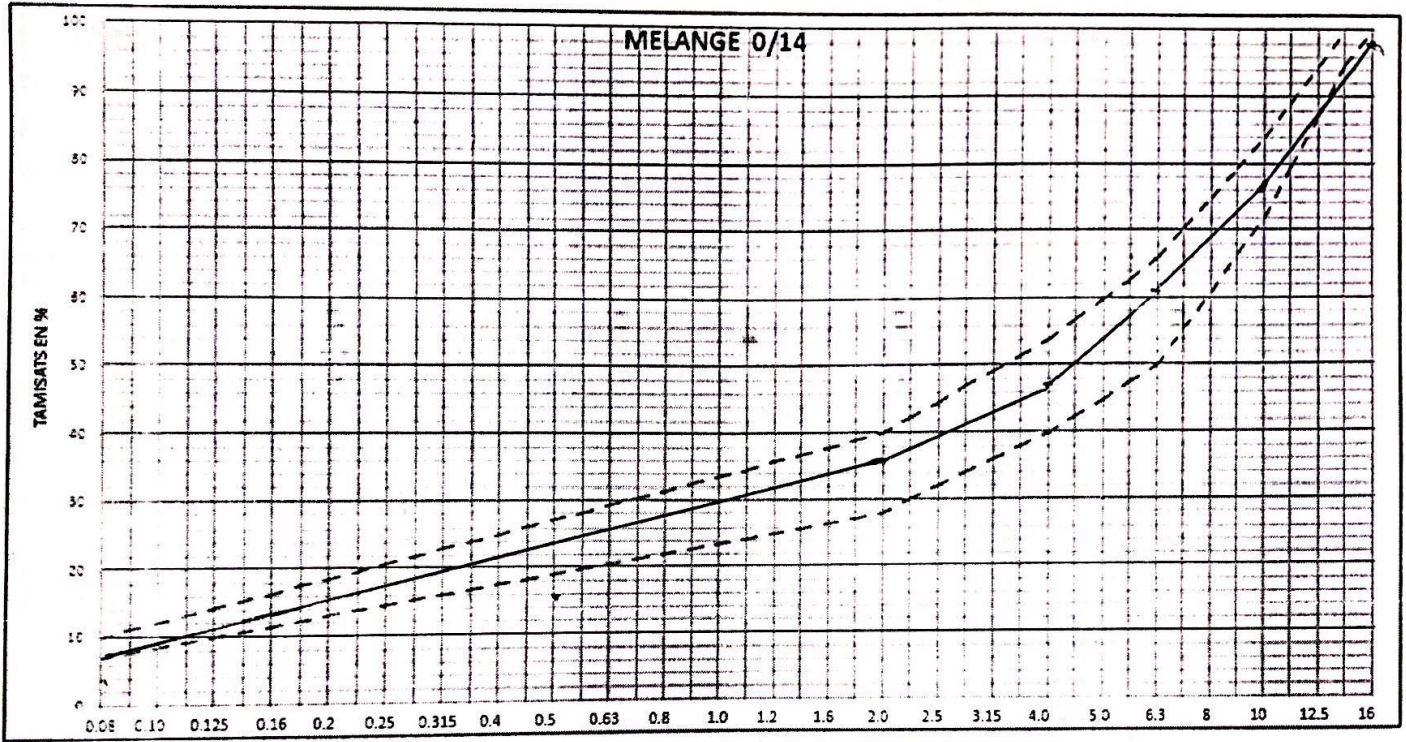


Structure : ANETTNE ADRAR
 Projet : ... DUC Adm ...
 Maître d'ouvrage : D T P ADRAR
 Entreprise : ... S.A.R.L. L.O.C.A.-T.E.R. ...
 Equipement : ... Bat. Tamis ...

Etaillage de poste

Lieu de Prélèvement : SALE ROUTE
 Date de prélèvement : 21 / 08 / 2021
 Section contrôlée : Etaillage de poste
 N° d'inventaire : ... L-22-15-5-049 ...

RESULTATS DE CONTROLE DE BB (0/14)



Granulométrie : Dans fuseau
 Partiellement hors fuseau
 Hors fuseau

Température : Dans le poste C°
 Sur chantier C°
 Classe de bitume :

Dosage en liant: %

Paramètres de réglage du poste :

Composants	8/15	3/8	0/3	Bitume
Paramètres de contrôle	39	28	45	56
Paramètres d'étalonnage	33	22	45	

Commentaires :

.....

Le chargé de chantier :

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS

NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: ANTENNR ADRAR

N° Dossier interne: modlco

Classe granul: GNT

Prise d'essai: 8275

Equipements utilisee: ...

Lieu de travail: A ADRAR

Date: 26/05/2022

Opérateur: SANKIKOU A

Lieu de prélèvement:

N° Dinventaire: L51-03-02

②

Ouverture	Refus	Refus cumulé	Pourcentage fus	Pourcentage passant	Observations
Tamis	partiel				
80					
63					
50					
40					
31.5	0	0	0,00	100,00	100
25					
20	0	0	0,00	100,00	100
16	181	181	2,19	97,81	98
12.5					
10	1587	1768	21,37	78,63	79
8					
6.3	1125	2893	34,96	65,04	65
5					
4	789	3682	44,50	55,50	56
3.15					
2.5					
2	1118	4800	58,01	41,99	42
1.60					
1.25					
1					
0.80					
0.63					
0.500					
0.400					
0.315					
0.250					
0.200					
0.160					
0.125					
0.100					
0.080	3017,3	7817,3	94,47	5,53	6

L'opérateur
A SANKIKOU

Visa du responsable

F-5-Ba-02

F-5-5p.02



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

Structure : ANETNNE ADRAR

Projet : D.U.C. ADRAR

Maître d'ouvrage : D T P ADRAR

Entreprise : S. A. B. L. A. G. A. - TAR

Equipement : P. T. A. S.

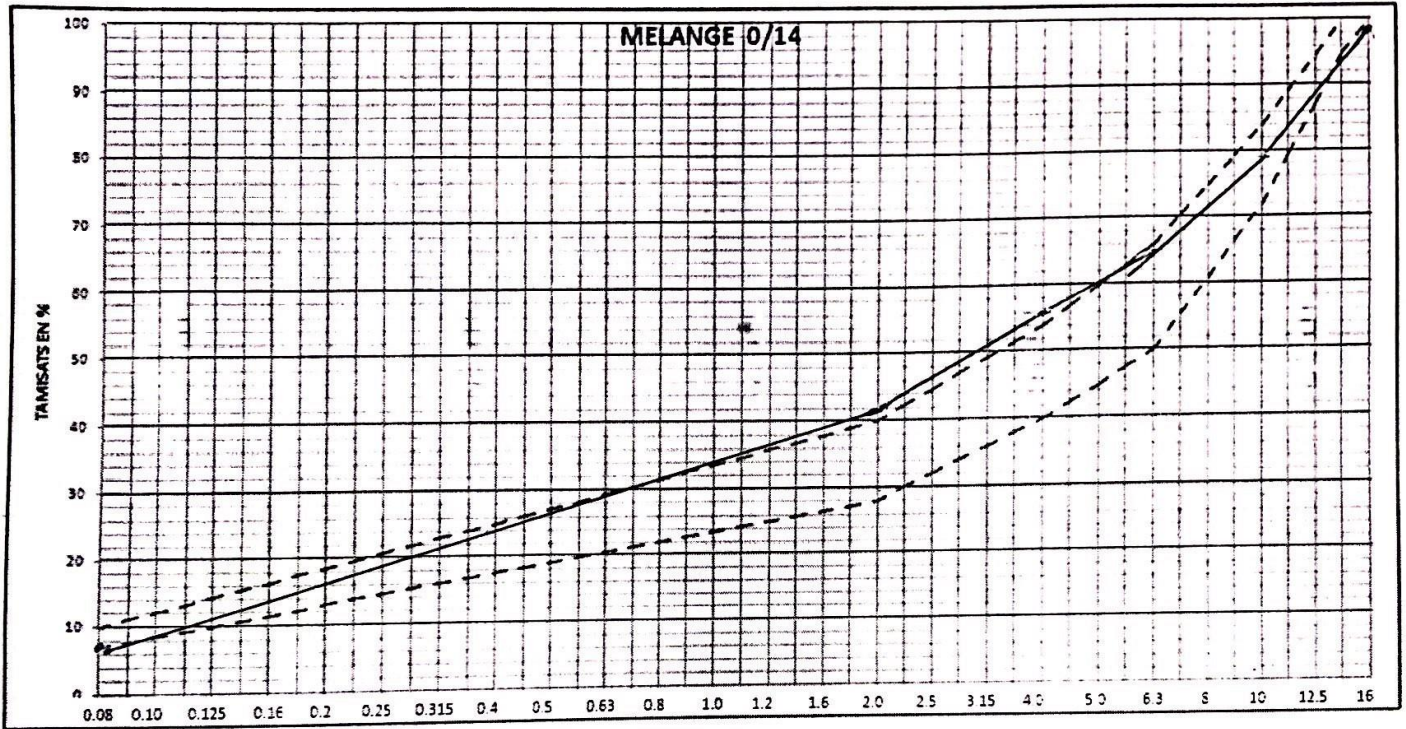
Lieu de Prélèvement : SALE ROUTE

Date de prélèvement : 21 / 05 / 2021

Section contrôlée : C. T. A. N. L. A. S.

N° d'inventaire : L. 2. 2. 1. 5. 5. 9. 9

RESULTATS DE CONTROLE DE BB (0/14)



Granulométrie : Dans fuseau
 Partiellement hors fuseau
 Hors fuseau

Température : Dans le poste C°
 Sur chantier C°
 Classe de bitume :

Dosage en liant: %

Paramètres de réglage du poste :

Composants	8/15	3/8	0/3	Bitume
Paramètres de contrôle	32	22	45	516
Paramètres d'étalonnage				

Commentaires :

Le chargé de chantier :

F4-In.02

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

Structure :...ANTHAINÉ ADRAR
 N° Dossier interne :
 Echantillon : Revêtements 0/14 BB
 Équipements utilisés :...CARROTAGE .

Lieu de travail : QNTHAINE ADRAR
 Date : 26/05/2022
 Opérateur :...SANKIKOU AHMED
 N° D'inventaire : H 06-05-09 .

°N d'ordre	Désignation	Dosages					
		p1	p2	p3	p4	p5	p6
1	N° Eprouvette						
2	Epaisseur(cm3)	5,5	6,1	5,5	6,3	5,4	5,5
3	Masse de l'éprouvette (g)	468,15	519,59	432,18	516,52	456,51	461,48
4	Masse de l'éprouvette paraffinée (g)	485,9	536,22	451,07	535,26	467,8	474,05
5	Masse de la paraffine (4-3) (g)	17,75	16,63	18,89	18,74	11,29	12,57
6	Masse volumique de la paraffi (g/cm ³)	0,9		0,9	0,9		0,9
7	Volume paraffiné : 5/6 (cm ³)	19,72	18,48	20,99	20,82	12,54	13,97
8	Masse lue de l'éprouvette paraffinée et immergée dans l'eau (g)	250,53	278,43	220,53	271,12	239,8	243,87
9	Volume brut : (4-8) (cm ³)	235,37	257,79	230,54	264,14	228	230,18
10	Volume net : (9-7)	215,65	239,31	209,55	243,32	215,46	216,21
11	Masse volumique de l'éprouvette (3/10) (g/cm ³)	2,17	2,17	2,06	2,12	2,12	2,13

Visa du Responsable

L'Opérateur

F-5-5ac.04