

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : GENIE CIVIL
Spécialité : TRAVAUX PUBLICS
Thème

**REVÊTEMENT EN BÉTON BITUMINEUX D'UNE
ROUTE NATIONALE**

Présenté Par :

➤ ZERHOUNI ZAKARIA

Devant le jury composé de:

Mr AMARA KHALED	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mr GHALI MANA	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadreur
Mme.....	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Mlle	MAB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2016/2017

Remerciement

Ce mémoire est le résultat d'un travail de recherche de près de cinq ans. En préambule, je veux adresser tous mes remerciements aux personnes avec lesquelles j'ai pu échanger et qui m'ont aidé pour la rédaction de ce mémoire.

En commençant par remercier tout d'abord **Monsieur Ghali Mana**, encadreur de recherche de ce mémoire, pour son aide précieuse et pour le temps qu'il m'a consacré.

Merci à **Monsieur. Khalil**, ingénieur a la direction des travaux publics Aintemouchent qui a su me guider vers les bonnes références.

Merci à tous les personnels du laboratoire des travaux publics d'aintemouchent .

Je tenais également à remercier **Monsieur Salah**, responsable du laboratoire travaux publics d'Oran pour son implication dans mes recherches. Ainsi que son personnel .

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille : mes parents, mes frères et tous mes proches, qui m'ont accompagné, aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

À mes parents qui ont tout sacrifié pour notre bien-être, et ont œuvré pour je puisse être aujourd'hui ce que je suis, et ai su me guider dans le sens du devoir et du travail.

À mes frères

À tous mes amis

À toute la famille zerhouni

À toute la famille kherbouche

À tous mes professeurs.

Sommaire

-	PAGE DE GARDE	
-	REMERCIEMENTS	
-	DEDICACES	
-	LISTES DES FIGURES	
-	LISTE DES TABLEAUX	
-	ABREVIATIONS	
-	SYMBOLES	
-	RESUME	

INTRODUCTION GENERALE.....

Partie I : La partie bibliographique

CHAPITRE I. Généralité sur les chaussées

I.1	Les structure de chaussées	2
I.1.1	Constitution d'une structure de chaussée.....	2
I.1.2	Les différents types de structures de chaussées	3
I.2.	Les dégradations des chaussée	9
I.2.1	L'évolution des fissures	9
I.2.2	Fissuration thermique	11
I.2.3	Propagation des fissures vers la couche de roulement.....	14
I.2.4	Classification des routes	17
I.3	Conclusion	18

CHAPITRE 2 : BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

II.1	LES BITUMES	20
II.2	Historique des bitumes	21
II.3	Fabrication du bitume	21
II.4	Composition et caractérisation chimique	22
II.4.1	Composition	22
II.4.2	Caractérisation chimique des quatre grandes familles de constituants du bitume	23
II.4.3	Principaux types de bitume.....	27
II.5	Principales caractéristiques des bitumes routiers	28
II.5.1	La mesure de pénétrabilité (NF EN 1426)	28

II.5.2	La Température de ramollissement Bille et Anneau	28
II.5.3	La densité relative	29
II.6	Classification des bitumes routiers	30
II.7	LES ENROBES BITUMINEUX.....	31
II.7.1	Composition des matériaux bitumineux	32
II.7.2	Fabrication industrielle et composition du bitume.....	33
II.8	Conclusion	34

PARTIE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 3 : ETUDE DE LABORATOIRE

	Introduction	36
III-1.	LES ESSAIS SUR LES GRANULATS.....	37
III-1.1	Analyse granulométrique	37
III.1.2	Essais Propreté superficielle	41
III.1.3	Essai d'aplatissement (EN FN 933-3 mars 1997)	42
III.1.4	LA MASSES VOLUMIQUES ABSOLUES	45
III.1.5	MASSES VOLUMIQUES APPARENTES DES GRANULATS.....	47
III.1.6	Essai Los-Angeles.....	49
III.1.7	Essai Equivalent de sable (NF P18-598)	50
III.1.8	Essai d'usure micro-Deval.....	52
III.2	ESSAIS SUR LE BITUME.....	54
III.3	Essais sur enrobé	55
III.3.1	Essai d'extraction à chaud (méthode KUMAGAWA NFT 66-001).....	55
III.3.2	Essai de performance Marshall (NEP 986251-2)	59
III.3.3	Essai Duriez	61
II.4	Carottage	63
	Conclusion	65

CHAPITRE 4 : FORMULATION ET RESULTAT

IV.1	Introduction	67
IV.2	LA COMPOSITION DES ENROBES BITUMINEUX.....	67
IV.3	FORMULATION DE MELANGE BITUMINEUX	67

IV.3.1	Choix de la formule granulaire	68
IV.3.2	Détermination de la teneur en bitume	68
IV.4	FORMULATION DE LA GRAVE BITUME 0/20	69
IV.4.1	Choix de la formule granulaire	69
IV.4.2	Détermination des teneurs en bitume	70
IV.4.3	Essais de performances mécaniques	71
IV.5	FORMULATION DU BETON BITUMINEUX BB 0/14.....	72
IV.5.1	Choix de la formule granulaire.....	72
IV.5.2	Détermination des teneurs en bitume	73
IV.5.3	Essais de performance mécanique	73
VI.6	Conclusion et recommandation	74
IV.7	Conclusion	75

CHAPITRE 5 : LA MISE EN ŒUVRE DU BETON BITUMINEUX

V.1	Introduction	77
V.2	LE TRAFIC	77
V.3	LE CLIMAT	78
V.4	LES TRAVAUX PREPARATOIRES DE L'ASSISE DE CHAUSSE.....	78
V.4.1	Les mesures de protection de la chaussée contre l'eau	79
V.4.2	le réglage en nivellement de l'assise.....	80
V.4.3	le reproflge de l'assise	81
V.4.4	la mise en état de propreté de bitume de la surface de l'assise.....	82
V.4.5	la Réalisation des couches d'interfaces	82
V.4.6	la couche d'imprégnation des matériaux non traités.....	83
V.4.7	La couche de protection (de cure) de l'assise traitée.....	84
V.4.8	La couche d'accrochage des matériaux bitumineux	85
V.5	LE REPANDAGE DES ENROBES BITUMINEUX A CHAUD.....	86
V.5.1	Le plant de repandage	88
V.6	Les actions à mener au titre des paramètres influençant le repandage.....	89
V.6.1	Les réglages initiaux du finisseur	89
V.6.2	Le choix du mode de guidage	90
V.6.3	Couches de roulement d'épaisseur inférieure à 8cm	91
V.6.4	Couches de roulement épaisseur [8 à 10cm].....	91
V.6.5	Couches de base	91

V.7	le pré-compactage des enrobés bitumineux	91
V.8	LE COMPACTAGE DES ENROBES BITUMINEUX A CHAUD	92
V.9	Le matériel de compactage	93
	Conclusion générale	96
	Bibliographique.....	97

Liste des figures :

Chapitre I: Généralité sur les chaussées

Figure I.1 : Constitution d'une structure de chaussée type.....	2
Figure I.2.a : Chaussées souples	3
Figure I.2.b: Fonctionnement d'une chaussée souple.....	4
Figure I.3: Chaussée bitumineuse épaisse.....	4
Figure I.4.a : chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques	5
Figure I.4.b : Fonctionnement d'une chaussée à assise traitée aux liants hydrauliques.....	5
Figure I.5 : chaussées à structure mixte.....	6
Figure I.6 : chaussées à structure inverse	6
Figure I.7 : dalles non goujonnées avec fondation	7
Figure I.8 : Dalles goujonnées avec fondation	8
Figure I.9 : Dalles sans fondation	8
Figure I.10 : Béton armé continu	8
Figure I.11 : Béton armé continu 2	8
Figure I.12 : Béton de ciment mince collé (BCMC)	9
Figure I.13 : Béton armé continu sur grave bitume (BAC/GB)	9
Figure I.14 : Fissuration longitudinale sur une chaussée.....	11
Figure I.15 : Manège de fatigue du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à Nantes...	12
Figure I.16 : Effet du gel et du dégel sur une route (Gonflement au gel).....	15
Figure I.17 : Effet du gel et du dégel sur une route (Affaissement au dégel).....	15
Figure I.18 : ouverture Cisaillement et Déchirement.....	16
Figure I.19 : Mode I : Retrait thermique	17
Figure I.+ II : Passage des charges de véhicule.....	18

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

Figure II.1: Représentation Schématique du Bitume.....	20
Figure II.2: Exemple de structures pour la fraction saturée des bitumes.....	24
Figure II.3: Exemple de structures pour la fraction aromatique des bitumes.....	24
Figure II.4: Exemple de structures pour la fraction des résines des bitumes.....	25
Figure II.5: Structure hypothétique des asphaltènes des bitumes.....	25

Figure II.6: Définition des fractions SARA d'un bitume.	26
Figure II.7: Représentation de l'essai de pénétrabilité.....	28
Figure II.8: Essai RTFOT.....	30
Figure II.8 : Matériaux bitumineux.....	31
Figure II.9 :Schéma général de la fabrication industrielle des bitumes.....	33

CHAPITRE III : ETUDE DE LABORATOIRE

Figure III.1 : Les tamis utilisés selon les classes granulaires	37
Figure III.2 : prelevment des granulats pour analyse au niveau de laboratoire	38
Figure III.3 : : Courbe d'analyse granulométrique des agrégats	54
Figure III.4 : Principe de l'essai Marshall	60
Figure III.5 : Le bain thermostatique	61
Figure III.6 : L'éprouvette dans les mâchoires	61
Figure III.7. : Les éprouvettes dans un bain normalisé de 18°C	62
Figure III.8. : Carottage GRAVE Bitumineux 0/14	64

CHAPITRE IV : RESULTATS ET ANALYSE

Figure IV.1 Courbe granulométrique du mélange granulaire.....	69
Figure IV.2 : Courbe granulométrique du mélange du grave bitume 0/20.....	70
Figure IV.3 : Compacteur automatique.....	71
Figure IV.4 : Presse MARSHALL.....	71
Figure IV.5 : Courbe granulométrique du mélange du Béton bitumineux BB 0/14.....	72

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

Figure V.1:la coupe type d'une chausse routière.....	83
Figure V.2: Les actions de compacteurs.....	83
Figure V.3: compacteur pneumatique.....	91
Figure V.4 : compacteur à cylindre lisse.....	94
Figure V.5: chargeur	95
Figure V .6 : Finisseur enrobé.....	95
Figure V .6 : camion enrobé.....	95

LISTE DES TABLEAUX :

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

Tableau II.1 : Classification des bitumes selon la pénétrabilité et TBA.....	2
Tableau II.2 : classification des bitumes purs.....	3

CHAPITRE III : ETUDE DE LABORATOIRE

Tableau III. 1 : Analyse granulométrique par tamisage gravier 15/25.....	3
Tableau III. 2: Analyse granulométrique par tamisage gravier 8/15.....	3
Tableau III. 3: Analyse granulométrique par tamisage gravier 3/8.....	3
Tableau III. 4 : Analyse granulométrique par tamisage sable 0/3.....	4
Tableau III 5: Résultat finale Analyse granulométrique par tamisage	4
Tableau III.6 :Propreté superficielle gravier 15/25.....	4
Tableau III.7 : Propreté superficielle gravier 8/15.....	4
Tableau III.8 :Propreté superficielle gravier 3/8.....	4
Tableau III.9 :Propreté superficielle des graviers	4
Tableau III. 10 : MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT GRAVIER 15/25....	4
Tableau III. 11 : MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT GRAVIER 8/15.....	4
Tableau III.12 : MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT GRAVIER 3/8.....	4
Tableau III.13 :RESULTAT FINALE MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT...	44
Tableau III.14 Masse volumique Gravies 15/25	45
Tableau III.15 Masse volumique absolue Gravier 8/15.....	45
Tableau III.16 Masse volumique absolue Gravies 3/8	45
Tableau III.17 Masse volumique absolue sable 0/3.....	46
Tableau III.18 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS Gravies 15/25	47.
Tableau III.19 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS Gravies 8/15	47
Tableau III.20 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS Gravies 3/8	48
Tableau III.21 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS Sable 0/3	48
Tableau III.22 Masse volumique absolue sable 0/3.....	50
Tableau III.23 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS sable 0/3.....	50
Tableau III.24 tableau Essai Los-Angeles	51
Tableau III.25 RESULATAT FINALE Essai Los-Angeles.....	52
Tableau III.26 RESULATAT FINALE Essai Equivalent de sable.....	53

Tableau III.27	tableau Résultat finale Essai Equivalent de sable.....	54
Tableau III.28	tableau Résultat finale Essai d'usure micro-Deval.....	55
Tableau III.29	tableau Les résultats des essais sur le bitume.....	56
Tableau III.30	tableau de prélèvement teneur en liant centrale d'enrobage.....	59
Tableau III.29	tableau Extraction à chaud KUMAGAWA GB 0/20.....	57
Tableau III.30	tableau Extraction à chaud KUMAGAWA BB 0/14.....	59
Tableau III.31	GRAVE BITUME 0/20 (15/25-8/15-0/3 CARRIER ENG TERGA.....	63
Tableau III.32	GRAVE Bitumineux 0/14 (-8/15-0/3 CARRIER ENG TERGA).....	63
Tableau III.33	carottage GRAVE BITUME 0/20.....	64
Tableau III.34	carottage GRAVE Bitumineux 0/14	65

CHAPITRE IV : RESULTATS ET ANALYSE

Tableau IV.1 :	Formule granulaire retenue.....	69
Tableau IV.2 :	Teneurs en bitume retenues pour la composition de la Grave bitume.....	70
Tableau IV.3 :	Résultats des essais MARSHALL.....	71
Tableau IV.4 :	Formule granulaire retenue.....	72
Tableau IV.5 :	Teneurs en bitume retenues pour la composition BB 0/14.....	73
Tableau IV.6 :	Résultats des essais Duriez.....	73
Tableau IV.7 :	Résultats des essais Marshall.....	73
Tableau IV.8:	Résultats Formulation GB 0/20.....	74
Tableau IV.9:	Résultats Formulation BB 0/14.....	74

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

tableau V.1 :	les liants utilisés en couche d'imprégnation et les dosages préconise.....	83
Tableau V.2 :	dosage pour couche de protection	85
Tableau V.3	dosage pour couche d'accrochage.....	85
Tableau V.4:	Les effets des réglages du finisseur.....	90
Tableau V.5:	La température de répandage.....	90

ABREVIATIONS

BAC	Béton armé continu
GB	Grave bitume
AP	Nombre cumulé de véhicules
BBDr	Béton Bitumineux Drainant
LCPC	laboratoire centrale des ponts et chaussés, France
LRPC	laboratoire régional des ponts et chaussés, France
LTPO	laboratoire des travaux publics d'oran
BBTM	Béton Bitumineux Très Mince
BBSG	Béton Bitumineux Semi-Grenu
CD	Coefficient Drainoroute
CFL (BFC)	Coefficient de Frottement Longitudinal (Braking Friction)
CVD	Nombre de véhicules légers par voie et par jour
FN	Friction Number
GN	Grip Number
GRAP	Essai de polissage par projection, France
Grip Tester	Appareil de la mesure de coefficient de frottement longitudinal
HSc	Hauteur au sable calculée, en mm
HSTM	High-Speed Texture Meter
HSv	Hauteur au Sable vraie, en mm
IMAG	Instrument de Mesure Automatique de Glissance
IO	Imagine Optique
NF	Norme Française
PAV	Pressure Ageing Vessel
PFT	Pavement Friction Tester
PSV	Polish Stone Value
PV	Polish Value
CW	chemin de willaya
RN	Route Nationale
Pl	pois lourd
Pg	pois léger
GB	Gave bitume
BB	Béton bitumineux

SYMBOLES

D	Calibre, i.e. diamètre maximal des grains, en mm
A	Coefficient d'aplatissement
P	Propreté superficielle
d	Diamètre répandue sur la surface de chaussées, en mm ²
F	Réaction longitudinale, i.e. la force de frottement
F _h	Force horizontale
G	Taux de glissement
L	Longueur d'un profil, en mm
LA	Coefficient Los Angeles
l	Longueur du profil, en mm
M	Masse sèche de l'échantillon pour essai MDE
MCE	Coefficient Micro-Deval en présence d'Eau
m	Masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm m'
N _b	Nombre d'indenteurs sur une longueur de profil donnée
P _{qbs}	Masse volumique absolue
P _{app}	Masse volumique apparente des granulats
R _q	Moyenne quadratique des aspérités, en mm
R ²	Coefficient de détermination
r	Rayon de roulement des roues, en cm
T	Trafic cumulé de véhicules poids lourds équivalent
SP _m	Taille moyenne des grains
t	Temps, en année
t ₀	Coefficient de corrélation

RESUME

La route joue un rôle très important sur le transport entre les humains et le commerce de marchandises entre les différentes zones nationales ou internationales c'est pour ce là que la chaussée doit être convenablement établie, donc la couche de roulement c'est la dernière couche d'adhérence entre pneumatiques des voitures et la chaussée, une couche bien construite permet une bonne circulation, le but de ce travail c'est d'étudier une couche de roulement en béton bitumineux d'une route nationale , dans cette étude j'ai devisé le travail de deux parties :

- la première partie qui revoit une généralité sur les chaussées et leur dégradation pour bien comprendre les difficultés d'une couche de roulement après une définition des matériaux concernée par cette couche, les bitumes et les granulats ainsi que l'enrobé bitumineux.
- La deuxième partie expérimentale qui traduit les travaux pratiques d'une couche béton bitumineux avec d'abord une étude au niveau du laboratoire sur tous les essais concernant les granulats et bitume ainsi les enrobés pour acceptation des matériaux selon les normes avant le mélange, ensuite l'analyse et les résultats pour conclure une bonne formulation finale et acceptable enfin la mise en œuvre de la couche béton bitumineux sur une route nationale.

Et conclusion pour tirer des leçons sur ce thème de recherche

Mots clés : enrobé bitumineux – revêtement – formulation – adhérence

الخلاصة

للطريق دورا مهما جدا في التنقل الإنسان بين مناطق مختلفة وطنية كانت او دولية ،لهذا يتم انشاء طبقة الارتداء لطريق بشكل صحيح و دقيق .و بالتالي فإن طبقة الارتداء هي الطبقة الأخيرة و تعتبر التصاق بين إطارات السيارات و طبقة و الهدف من كل هذه الدراسة هو الحصول على دراسة دقيقة و منطقية لطبقة من .شيدت بشكل صحيح يسمح بحركة جيدة : الإسفلت في طرق وطنية ، في هذه الدراسة قسم العمل لجزأين

الجزء الاول تستعرض العمومية على الطرق و فهم تدهور الصعوبات المتواجدة على سطح الطريق بعد تعريف المواد ذات صلة مع هذه الطبقة

الجزء الثاني : هو عبارة عن دراسة تجريبية التي تعكس التطبيق العملي لطبقة الإسفلت ،لاول مرة مع دراسة في المخبر على جميع الاختبارات على وحدات عمل الاسفلت و المواد المغلفة لقبول المواد وفقا لمعايير قبل الاختلاط ،ثم التحليل و . و النتائج لابرام صيغة النهائية الجيدة و المقبولة

اخيرا تنفيذ طبقة الاسفلت على الطريق

. النتيجة : لمعرفة المزيد عن هذا موضوع الابحاث

كلمات البحث: الأسفلت - طلاء - صياغة - الالتزام

ABSTRACT

The road plays a very important role on the transport between humans and the merchandise trade between the different national or international zones that is why the pavement must be properly established, so the rolling layer is the last layer A good layer allows a good circulation, the aim of this work is to study a rolling layer of bituminous concrete of a national road, in this study I The work of two parties:

- the first part which reviews a generality on pavements and their degradation to fully understand the difficulties of a rolling layer after a definition of the materials concerned by this layer, bitumens and aggregates as well as bituminous mix.
- The second experimental part, which reflects the practical work on a bituminous concrete layer, first with a laboratory-level study on all the tests on aggregates and bitumen and the asphalt mixtures for accepting the materials according to the standards before mixing, Analysis and results to conclude a good final and acceptable final formulation and finally the implementation of the bituminous concrete layer on a national highway.

And conclusion to draw lessons on this research topic

Keywords: bituminous mix - coating - formulation – adhesion

INTRODUCTION GENERALE

L'importance de la route sous toutes ses formes, n'est plus à démontrer de tous les temps les individus ont eu à circuler et à se déplacer pour vaquer à leur occupation , communiquent entre eux.

La route est un moyen de transport et de communication entre les gens .si la route est à ce point importante, que dire du revêtement en béton bitumineux d'une route nationale ? et notamment pour sa durée de vie .

L'enrobé bitumineux dans sa configuration traditionnelle ne permet plus une résistance satisfaisante à l'orniérage sous le trafic lourd et canalisé ainsi que les températures élevées qui sont l'origine des déformations des couches supérieures de la chaussée.

C'est pour cela que je projete a effectuer cette recherche intitulée . Dans cette étude j'ai choisi, la méthodologie a suivre pour bien déterminer toutes les étapes qui concernent une couche de revêtement en béton bitumineux d'une route nationale, donc le but final de notre recherche c'est de découvrir les matières et les étapes pour construire une couche de béton bitumineux a chaud . ainsi que j'ai entamé un stage de fin d'études au sein du laboratoire travaux publics ain temouchent et du laboratoire travaux publics oran dans le domaine des enrobés bitumineux dont on sait la complexité de leurs comportements et la nécessité , de les étudier profondément, l'objet de cette étude et d'étudier au niveau du laboratoire tous les essais granulaires .le principe de ce sujet est la formulations d'enrobé à chaud pour couches de roulement des chaussées très circulées (route nationale).

le présent travail est divisé en deux grandes parties:

- première partie : la Partie bibliographique comporte deux chapitres :

Chapitre 1 : Le premier chapitre nous permettra de présenter une recherche bibliographique sur les chaussées et leur types ainsi que leur dégradation.

chapitre 2 : Ce chapitre est destiné à expliquer tout sur le bitume , ses caractéristiques ainsi que l'enrobé bitumineux et leurs composantes .

➤ la deuxième partie : la Partie expérimentale comporte trois chapitres :

Chapitre 3 : Le troisième chapitre présente une étude au niveau du laboratoire qui présente tous les essais concernés dans une formulation du béton bitumineux premièrement par les essais granulaires ensuite sur bitume, après par les essais sur enrobée bitumineux et finalement par le carottage.

Chapitre 4 : Ce chapitre contient une étude de formulation détaillée après Résultats et interprétations des essais effectués selon les normes pour trouver la composition optimale menant au mélange ordinaire le plus performant.

Chapitre 5 : Ce chapitre contient des notions générales sur le trafic des routes et aussi la mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux d'une route nationale qui contient tous les travaux préparatoires de l'assise et le matériel pour la mise en œuvre.

Enfin j'ai terminé mon travail par une conclusion générale.

PARTIE I:

PARTIE

BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I :
GENERALITES
SUR
LES CHAUSSEES

Chapitre I: Généralités sur les chaussées

I.1 Les structures des chaussées :

I.1.1 Constitution d'une structure de chaussée

Une chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini [LCPC, 1994] (fig 1.1) [1].

Tout d'abord le sol terrassé ou sol- support est surmonté généralement d'une couche de forme. L'ensemble sol-couche de forme représente la plate-forme support de la chaussée. La couche de forme a une double fonction. Pendant les travaux, elle assure la protection du sol- support, permet la qualité du nivellement ainsi que la circulation des engins. En service, elle permet d'homogénéiser les caractéristiques mécaniques des matériaux constituant le sol ou le remblai, et d'améliorer la portance à long terme.

Puis viennent la couche de base et la couche de fondation formant ainsi les couches d'assise. Les couches d'assise apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic et répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à un niveau admissible.

Enfin, la couche de surface se compose de la couche de roulement et éventuellement d'une couche de liaison entre la couche de roulement et les couches d'assise. Elle a deux fonctions. D'une part, elle assure la protection des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations d'eau. D'autre part elle confère aux usagers un confort de conduite d'autant plus satisfaisant que les caractéristiques de surface sont bonnes.

Selon les matériaux granulaires liés (enrobés, béton,...) ou non liés composants les couches des chaussées, nous distinguons plusieurs types de structures. Dans la suite, nous allons présenter les classifications des chaussées françaises [LCPC, 1994] [1].

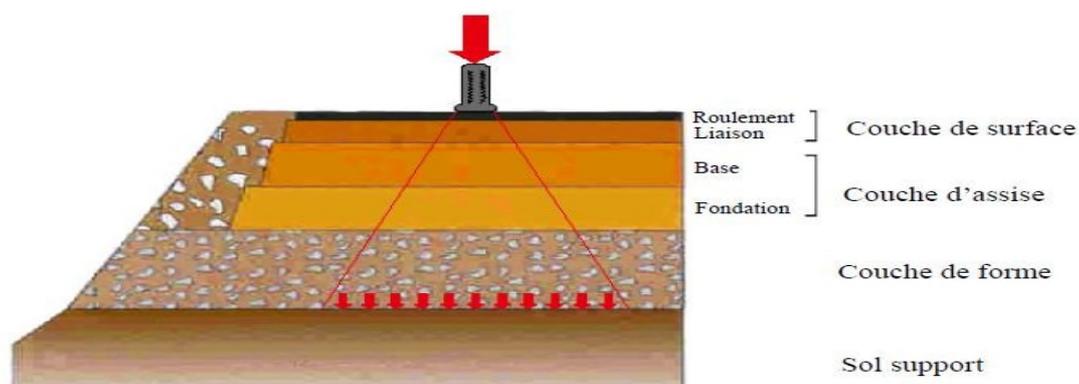


Figure I.1: Constitution d'une structure de chaussée type

Chapitre I: Généralités sur les chaussées

I.1.2 Les différents types de structures de chaussées

L'une des caractéristiques du réseau routier français est l'existence d'une grande diversité de structures de chaussées, que l'on classe dans les familles ci-dessous [LCPC, 1994] [1].

➤ Les chaussées souples

Ces structures comportent une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15cm), parfois réduite à un enduit pour les chaussées à très faible trafic, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm.

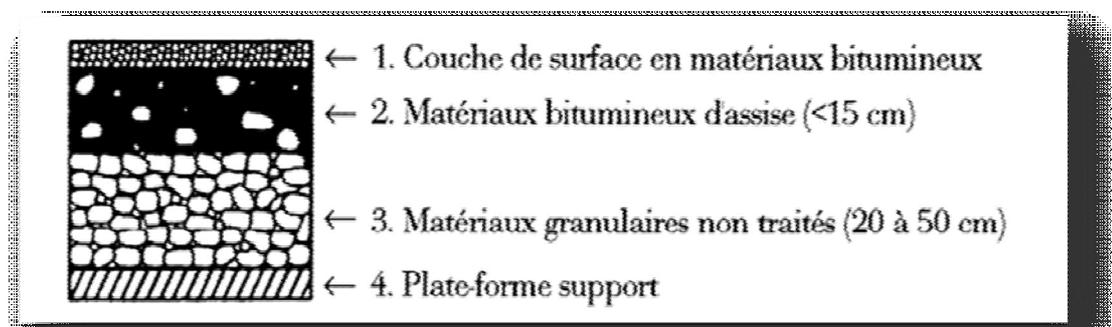


Figure I.2.a: Chaussées souples [LRPC, 1994] [1].

Les matériaux granulaires constituant l'assise de la chaussée ont un module de rigidité relativement faible. Comme la couverture bitumineuse est mince, les efforts verticaux sont transmis au support avec une faible diffusion. Les contraintes verticales élevées engendrent par leur répétition des déformations plastiques qui se répercutent en déformations permanentes à la surface de la chaussée. La couverture bitumineuse subit à la base des efforts répétés de traction flexion.

L'évolution la plus fréquente des chaussées souples se manifeste d'abord par l'apparition de déformations de type orniérage et affaissements qui détériorent les qualités des profils en travers et en long.

Les sollicitations répétées de flexion alternée dans la couverture bitumineuse entraînent une détérioration par fatigue, sous forme de fissures d'abord isolées, puis évoluant peu à peu vers le faïençage.

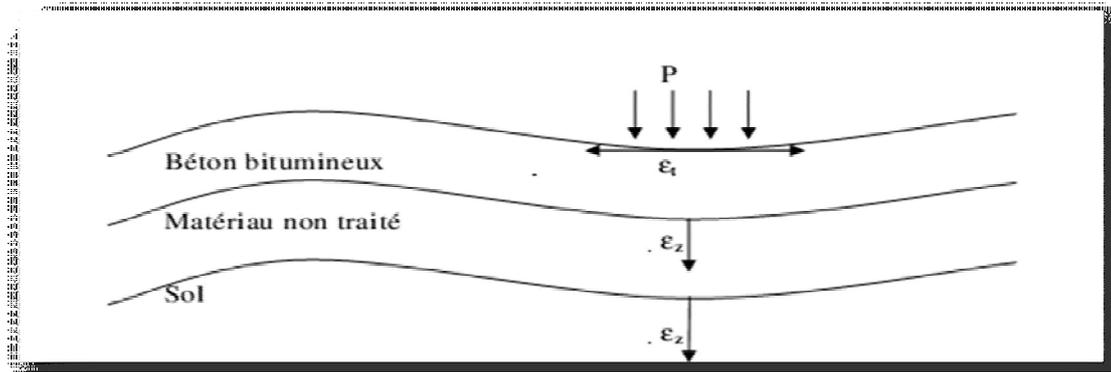


Figure I.2.b: Fonctionnement d'une chaussée souple

➤ **Les chaussées bitumineuses épaisses**

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, 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.

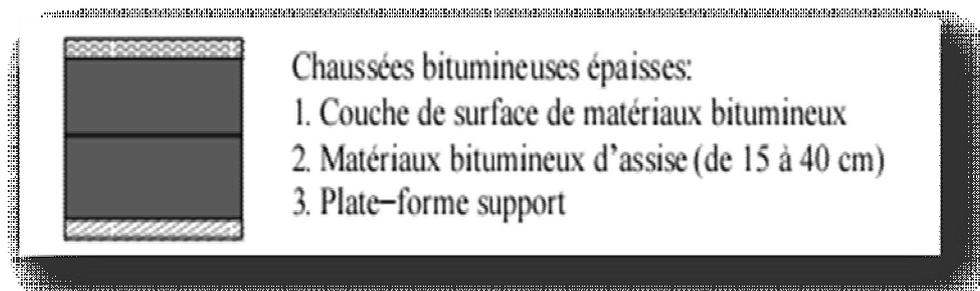


Figure I.3: Chaussée bitumineuse épaisse [LCPC, 1994] [1].

La rigidité et la résistance en traction des couches d'assise en matériaux bitumineux permettent de diffuser en atténuant fortement les contraintes verticales transmises au sol.

La qualité des interfaces a une grande importance pour ce type de chaussée ; en effet : si les couches bitumineuses sont liées, les allongements maximaux se produisent à la base de la couche liée la plus profonde; par contre, lorsqu'elles sont décollées, chaque couche se retrouve sollicitée en traction, provoquant la ruine prématurée de la structure.

➤ **Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques**

Ces structures sont qualifiées couramment de "semi-rigides". Elles comportent une couche de surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une ou deux couches (base et fondation) dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50 cm.

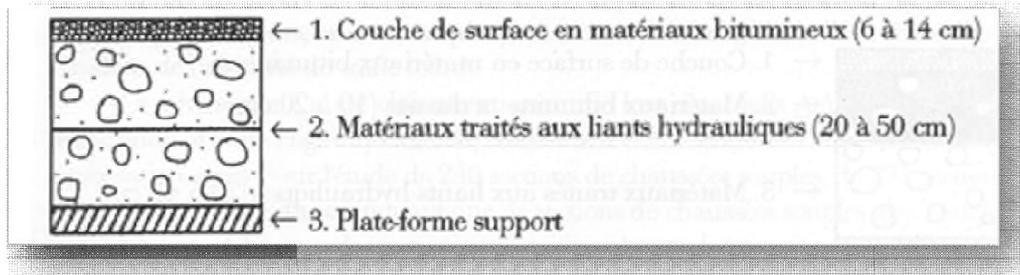


Figure I.4.a: chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques [LCPC, 1994] [1].

Le fonctionnement de ces structures peut être schématisé comme suit :

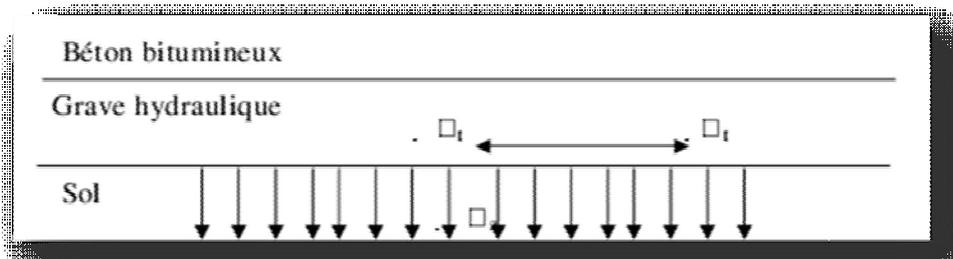


Figure I.4.b : Fonctionnement d'une chaussée à assise traitée aux liants hydrauliques

Compte tenu de la très grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques, les contraintes verticales transmises au sol support sont très faibles. En revanche l'assise traitée subit des contraintes de traction-flexion, σ_t qui s'avère déterminantes pour le dimensionnement.

L'interface couche de surface-couche de base est aussi une zone sensible car elle est souvent soumise à de fortes contraintes normales et de cisaillement à l'horizontal et les centimètres supérieurs de l'assise traitée sont souvent de faible résistance.

Ces assises sont sujettes à des retrait (phénomène thermique et de prise de béton). Le retrait bien qu'empêché par le frottement de la couche d'assise sur son support, provoque des fissures transversales qui remontent au travers de la couche de roulement.

➤ Les chaussées à 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

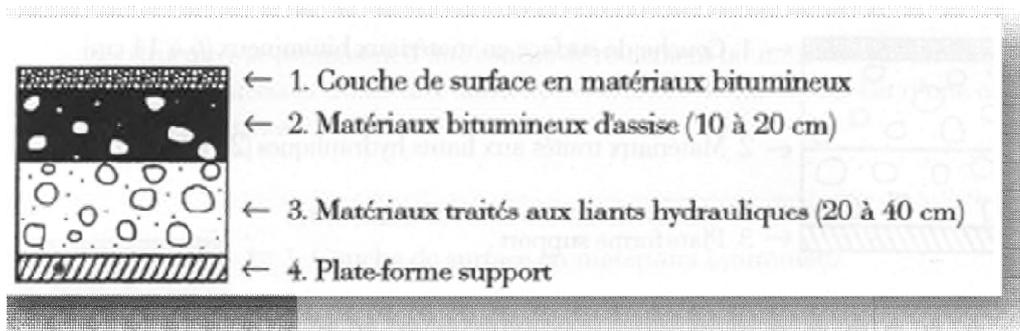


Figure I.5: chaussées à structure mixte [LCPC, 1994] [1].

La couche de fondation est traitée aux liants hydrauliques diffus et atténue les efforts transmis au sol support.

Les couches bitumineuses ralentissent la remontée des fissures transversales de la couche sous-jacente et réduisent les contraintes de flexion à la base de la structure tout en assurant les qualités d'uni et de continuité.

L'adhérence entre les couches bitumineuses et les couches traitées aux liants hydrauliques est le point faible de la structure. Elle peut être rompue par suite de délatation différentielle entre les deux couches et de l'action du trafic, entraînant alors une forte augmentation des contraintes de traction à la base de la couche bitumineuse, qui peut ainsi périr par fatigue.

➤ **Les chaussées à 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.

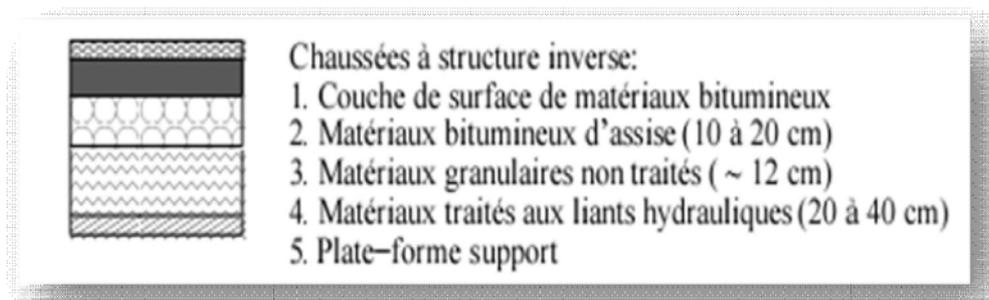


Figure I.6: chaussées à structure inverse [LCPC, 1994] [1].

➤ **Les chaussées 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.

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 (cf. figure I.7 à I.11).

➤ **Les chaussées composites**

Afin d'offrir une solution concurrente aux chaussées classiques, deux nouvelles structures se développent depuis les années 1990 aux Etats Unis [Cole et al., 1998] [2] et sont employées depuis moins d'une dizaine d'années en France [CIM béton, 2000][3]. Ces structures combinent une couche de béton de ciment (pour leurs propriétés de durabilité et leur haut module) avec des couches en matériaux bitumineux (pour leurs bonnes propriétés d'adaptations). L'intérêt technique et économique de ces structures dépend essentiellement de la qualité et de la pérennité de l'adhérence mécanique du collage avec interface entre ces couches [Pouteau et al., 2004][4]. Ci-dessous deux types de structures composites sont présentés : le béton de ciment mince collé [Silwerbrand, 1998] [6] et le béton armé continu (BAC) sur grave bitume (GB).

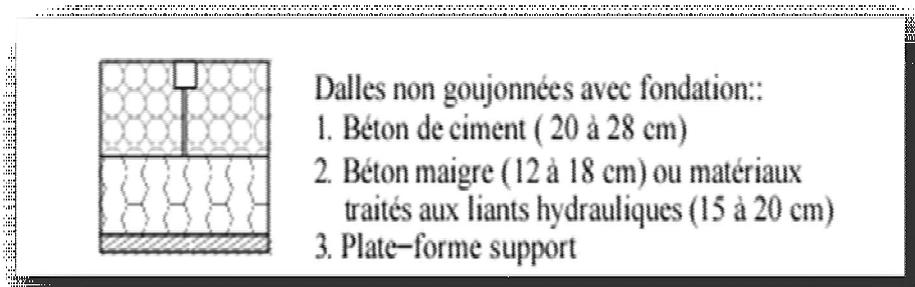


Figure I.7: Dalles non goudronnées avec fondation [LCPC, 1994][1]

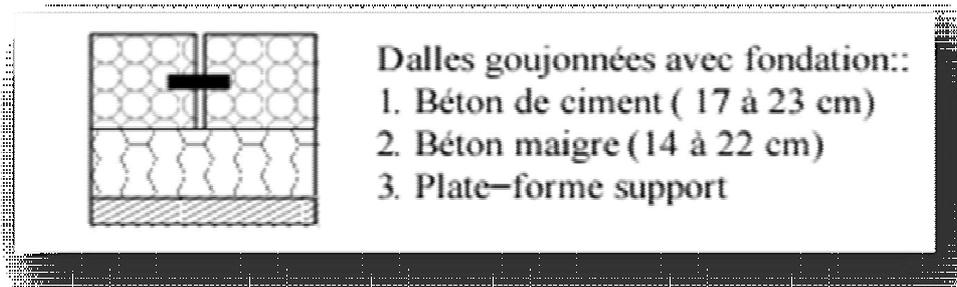


Figure I.8: Dalles goujonnées avec fondation [LCPC, 1994] [1]

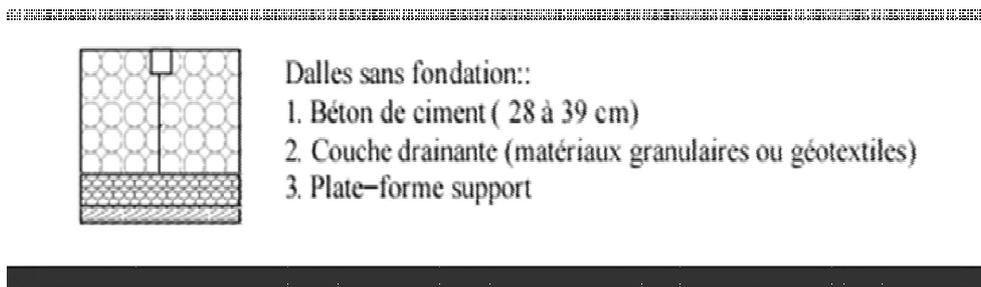


Figure I.9: Dalles sans fondation [LCPC, 1994] [1]

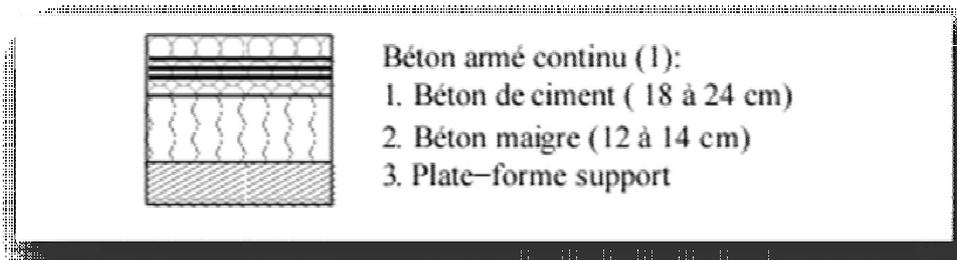


Figure I.10: Béton armé continu 1 [LCPC, 1994] [1]

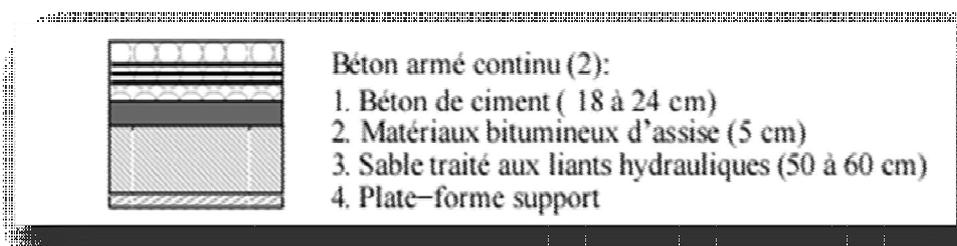


Figure I.11: Béton armé continu 2 [LCPC, 1994] [1]

La structure du béton de ciment mince collé (BCMC) est connue en France depuis 1996 [CIM béton, 2000][4].

Elle consiste à réaliser des dalles minces (de 10 à 15 cm d'épaisseur) ou très minces (de 5 à 10 cm d'épaisseur) en béton sur un matériau bitumineux (cf. figure I.12).

La structure BAC sur GB est une structure composite qui se compose des couches suivantes : BBTM (Béton Bitumineux Très Mince)/ ES (Enduit Superficiel)/ BAC/ GB [Guidoux, 2000] (cf .figure I.13). Toutes ces chaussées après dimensionnement, sous l'influence du chargement du trafic, sous l'effet de la température ou d'autres raisons (mauvais dimensionnement, déshydratation des matériaux...), subissent des dégradations de différents types. Pour le problème de redimensionnement et de réparation des chaussées, il est nécessaire de comprendre l'origine et les types de ces dégradations.

Dans la partie suivante, nous allons décrire de façon générale ces phénomènes.

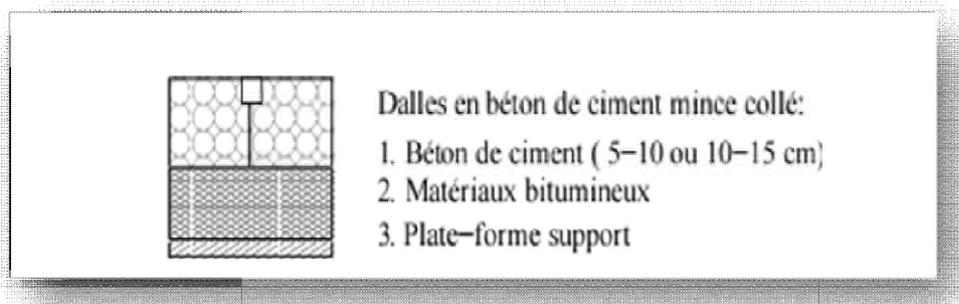


Figure I.12: Béton de ciment mince collé (BCMC) [1]

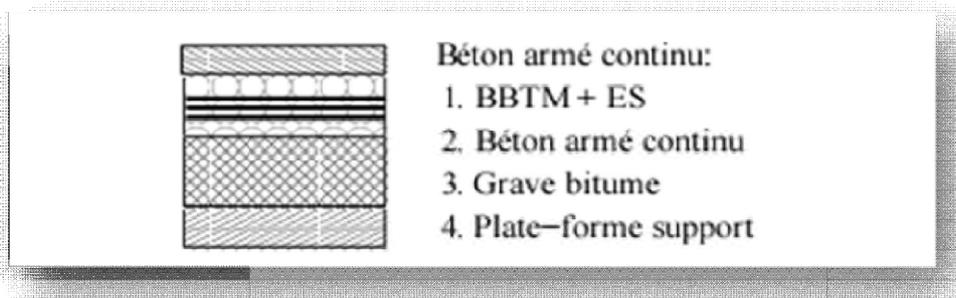


Figure I.13: Béton armé continu sur grave bitume (BAC/GB) [1]

I.2 Dégradations des chaussées :

I.2.1 Conditions d'observation:

Au passage d'une charge roulante, une chaussée subit des efforts normaux et transversaux qui conduisent à divers types de dégradations dont les principales sont l'orniérage et la fissuration.

L'orniérage est une déformation irréversible transversale apparaissant sous le passage des roues qui concerne d'assez grandes longueurs de chaussée. Son origine est le plus

souvent un fluage de la couche de roulement dû à l'utilisation d'un bitume trop « mou » (cas des ornières à faible rayon (Jeuffroy, 1983)). Les ornières à grand rayon traduisent quant à elles une fatigue de la structure par tassement des couches inférieures de la chaussée et du sol support.

La fissuration est une famille de dégradation caractérisée par une ligne de rupture apparaissant à la surface de la chaussée.

➤ **Deux familles de fissuration sont à distinguer :**

La fissuration des couches inférieures est principalement due à la fatigue de la structure qui se caractérise par la rupture de l'enrobé après application répétée d'un grand nombre de sollicitations, dont l'amplitude est inférieure à celle conduisant à la rupture au premier chargement.

La fatigue des enrobés bitumineux constitue l'un des principaux modes de rupture des chaussées bitumineuses épaisses. L'évaluation du comportement à la fatigue est donc à la base des méthodes de dimensionnement dans de nombreux pays.

La fissuration dans les couches supérieures se manifeste dans la chaussée par des fissures transversales régulièrement espacées de 5 à 20 mètres et des fissures longitudinales (figure I.14) qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres. Leur ordre d'apparition et leur origine ne sont pas clairement établis, car l'expérience de terrain est parfois en désaccord avec les guides pratiques et techniques qui définissent un répertoire des déformations et préconisent des solutions d'entretien. Après plusieurs années, ces fissures peuvent atteindre 20 mm de large.

A moins d'être remplies par un enduit d'étanchéité, elles permettent à l'eau d'infiltrer la chaussée et de réduire sa capacité structurelle. Cette fissuration peut être le résultat d'un seul passage d'une charge roulante mais peut être aussi dû à un phénomène de fatigue



Figure I.14: Fissuration longitudinale sur une chaussée

I.2.2 Fissuration thermique :

Les sollicitations thermiques sont également à l'origine d'un grand nombre de dégradations, et sont souvent un facteur important de vieillissement des chaussées.

- **Amplitudes thermiques**

En ce qui concerne les sollicitations sous trafic aux températures de service extrêmes, les déformations permanentes et la fissuration des chaussées après vieillissement accéléré, dû aux effets thermiques, demeurent une préoccupation majeure des maîtres d'ouvrages.

Cette fissuration est principalement liée aux grandes amplitudes thermiques. Une température ambiante élevée est un facteur de vieillissement du bitume car elle a pour effet d'augmenter sa rigidité ce qui le rend plus résistant à la déformation permanente. En revanche, lorsque la température ambiante devient très basse ($< 20^{\circ}\text{C}$), le matériau se fragilise.

La fissuration à basse température est ainsi l'un des premiers mécanismes de détérioration dans les climats froids.

De forts gradients thermiques entre le jour et la nuit sont une autre cause possible de fissuration. Cette dégradation a été observée sur le manège de fatigue du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes (figure I.15).



Figure I.15: Manège de fatigue du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à Nantes

- **Autoréparation**

A la surface de certaines chaussées, on a pu constater que des fissures existantes avaient disparu après l'été. Un phénomène analogue a pu être observé sur les chaussées du manège de fatigue du LCPC: les valeurs de déflexion diminuent entre la fin d'une période circulée et le démarrage de la phase suivante d'essais quelques mois plus tard (de La Roche, 1996)

Il semblerait donc que les enrobés aient la faculté sous certaines conditions de récupérer au moins partiellement leurs caractéristiques mécaniques (Roth, 2000).

L'autoréparation a fait l'objet d'études sur l'endommagement des enrobés bitumineux en fatigue avec des temps de repos (Breysse *et al.*, 2002).

Ces observations conduisent à l'hypothèse que le bitume est apte à recoller une fissure dans certaines conditions de sollicitations thermiques et mécaniques (entre -20°C et 50°C). Cet essai peut aussi être pratiqué à grande déformation, pour déterminer la perte de linéarité du module à la température de 0°C .

➤ **Détermination du coefficient de dilatation thermique**

La détermination du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température permet d'apprécier l'aptitude d'un matériau à se déformer face aux variations de température.

Pour cet essai, l'éprouvette d'enrobé (80 mm de hauteur et 40 mm de diamètre) est suspendue, son axe étant en position horizontale pour éviter tout frottement. Ainsi, l'éprouvette est libre de ses mouvements, se contracte et se dilate selon la variation de la température.

Caractérisation du comportement à basse température:

Pour étudier le comportement des enrobés bitumineux à basse température, il n'y a pas encore de méthodologie d'étude bien codifiée. Des enseignements peuvent être obtenus à partir d'essais visant à caractériser la résistance mécanique ou la capacité de l'enrobé à relaxer les contraintes. La résistance à la fissuration thermique fragile des enrobés est généralement appréhendée par la détermination du coefficient de dilatation thermique et par une combinaison d'essais de retrait thermique empêché, de traction et de relaxation à basse température.

Détermination du module en traction directe:

Il s'agit de suivre l'évolution de la résistance en traction directe de l'enrobé en fonction de la température, pour des valeurs de plus en plus basses. Cet essai est pratiqué sur des éprouvettes cylindriques, de diamètre compris entre 50 et 160 mm et d'élanement 2 à 3.

Les éprouvettes, maintenues à température constante, sont sollicitées en traction directe suivant une loi de déformation de la forme $q(t) = at^n$. L'essai est réalisé à plusieurs degrés de températures

- **Retrait thermique empêché**

L'essai de retrait empêché permet d'évaluer le comportement jusqu'à la rupture du matériau. Dans cet essai, un gradient de température est appliqué à une éprouvette cylindrique de 80 mm de haut et de 40 mm de diamètre, collé entre les plateaux d'une presse hydraulique, en maintenant sa déformation longitudinale nulle (Maia *et al.*, 1999). Ce retrait thermique empêché engendre dans le matériau des contraintes de traction

pour une descente en température à vitesse constante qui peuvent être comparées à la résistance à la rupture en traction directe de l'éprouvette. La vitesse doit cependant être suffisamment faible pour que les conditions restent uniformes au sein de l'éprouvette (en général $-10^{\circ}\text{C}/\text{heure}$).

Les caractéristiques retenues sont:

- la contrainte à la rupture
- la température à la rupture (en général autour de -50°C)
- la température $T_{1,0\text{MPa}}$ pour laquelle la contrainte atteint 1,0 MPa.

- **Essai de relaxation**

Pour résister à la fissuration thermique, un enrobé doit garder un module de rigidité suffisamment faible et relaxer les contraintes: ces caractéristiques sont obtenues à partir de l'essai de relaxation.

Après avoir soumis l'éprouvette à une rampe rapide de déformation en traction, la déformation axiale ϵ_0 est maintenue constante, tandis que l'on mesure, à température constante, la contrainte

$$\frac{\Delta\epsilon(T)}{\Delta T}$$

I.2.3 Propagation des fissures vers la couche de roulement

La remontée d'une fissure existante, au travers de la couche de roulement, est le résultat de mouvements des lèvres de la fissure qui sont transférés à la base de la couche de surface. Afin d'identifier correctement le problème de la remontée de fissure, il est bien nécessaire d'identifier les différents paramètres qui peuvent causer ces mouvements.

Les trois types de chargement qui provoquent des mouvements des lèvres de la fissure

- **Traffic** : Les véhicules qui passent au droit de la fissure ou à proximité induisent des mouvements horizontaux et verticaux de la fissure.
- **Variation de température** : Le changement de température entre jour-nuit, hiver-été provoque des dilatations et contractions dans la chaussée. Ces mouvements alternent entre l'ouverture et fermeture de la fissure.

Sous l'effet du froid, la pénétration du gel s'effectue graduellement dans les sols en partant du haut vers le bas (voir figure I.16). Ce gel endommage la structure. Dans certaines conditions défavorables, l'eau contenue dans les sols non gelés peut être aspirée vers la zone de gel. Ce pompage de l'eau de la nappe phréatique engendre alors la formation de lentilles de glace qui se traduit par un soulèvement de la chaussée.

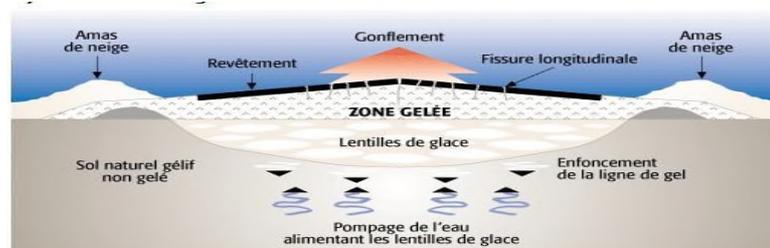


Figure I.16: Effet du gel et du dégel sur une route (Gonflement au gel)

À cause de leur taille, ces lentilles peuvent soulever la chaussée jusqu'à 20 cm. Les soulèvements sont souvent inégaux, ce qui explique les creux et les bosses qui sont plus importants à la fin de l'hiver quand la profondeur du gel est au maximum.

Ils ont aussi pour effet de faire plier le revêtement, provoquant l'apparition de fissures de gel plus ou moins longitudinales. De plus, comme tout autre matériau, l'enrobé durcit, se fragilise et se contracte sous l'effet du froid. En rétrécissant sur de grandes longueurs, le revêtement est alors soumis à des efforts de tension qui vont le faire casser, produisant ainsi des fissures transversales.

La chaussée n'est pas au bout de ses peines, car arrive ensuite le dégel printanier qui se fait aussi du haut vers le bas. L'eau provenant de la fonte de la neige en surface et de la fonte des lentilles de glace à l'intérieur se retrouve en quantité importante dans la couche de sol dégelé. Cette eau est alors emprisonnée dans le sol à cause de la couche gelée du dessous qui est étanche (voir figure I.17)

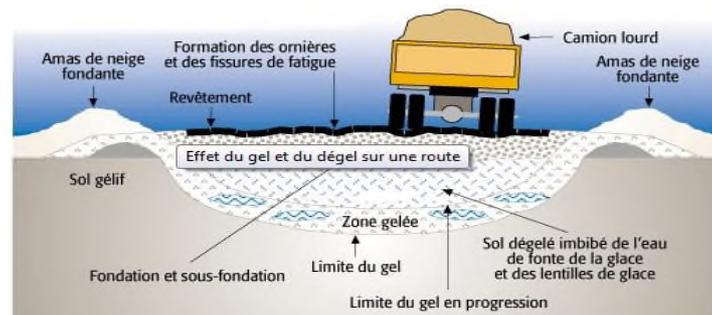


Figure I.17: Effet du gel et du dégel sur une route (Affaissement au dégel)

La chaussée ne présente alors que de 30 à 70 % de sa résistance normale en été. C'est pour cette raison que des restrictions de charges sont imposées aux véhicules lourds afin de limiter les dommages en période de dégel.

Ces dommages contribuent à la formation graduelle d'ornières, de fissures de fatigue dans les pistes de roues et parfois de nids-de-poule.

Remarquons que les soulèvements dus au gel se résorbent au dégel. Toutefois, la chaussée ne reprend pas nécessairement sa position initiale, ce qui altère l'uni, donc le confort de roulement.

La chaussée se draine durant l'été et les cycles se répètent chaque année, causant davantage de détériorations. Son endommagement s'accélère avec le temps, car l'apparition de petits défauts crée des zones de faiblesses supplémentaires qui laisseront pénétrer plus d'eau, qui s'aggraveront et se propageront plus rapidement d'une fois à l'autre. Ainsi, même pour une chaussée, la vie dans le nord n'est pas de tout repos.

- **Variation de teneur en eau du sol** : La variation de teneur en eau du sol se traduit par un changement de la portance du sol qui se répercute aussitôt sur la fissure par une ouverture ou une fermeture.

Nature de mouvement des lèvres de fissure et ses combinaisons dans la fissure de chaussée

Les trois mouvements possibles des lèvres de fissure sont classés selon un schéma conventionnel de [Irwin, 1957][21] (Voire figure I.18)

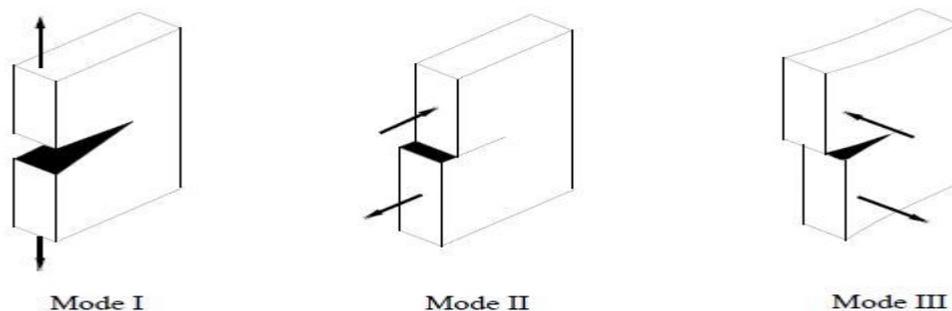


Figure I.18: Mode I : ouverture, ModeII : Cisaillement, ModeIII : Déchirement

Dans la chaussée, ces trois types de mouvements vont causer la rupture de la couche de surface selon une combinaison comme suit (cf. figure I.19 [Vanelstraete et Francken, 1997][22] et [Colombier, 1989])[23] :



Figure I.19: Mode I : Retrait thermique ; Mode I+II : Passage des charges de véhicule

I.2.4 Classification des routes

Définitions :

La route née du passage répété d'homme et d'animaux sur un même itinéraire.

La route est une voie de communication qui permet de relier tous les points d'un territoire, elle assure la liaison et la continuité des transports entre les autres voies de communication.

Classification des routes :

a Chemins communaux :

Dépendant de la commune. On distingue 2 types, l'un appelé chemin rural : et qui par définition assure la liaison, entre habitations rurales et les propriétés agricoles. L'autre appelé chemin urbain e qui par définition est la voie à l'intérieur de l'agglomération urbaine.

b- Chemins nationaux :

Sa construction est son entretien relèvent de la responsabilité du ministère des travaux publics.

c- Chemins de wilaya :

Sa construction et son entretien relevant de la responsabilité de la wilaya.

d- Les autoroutes :

Sont des routes nationales et internationales réservées à la grande circulation mécanique rapide.

Catégorie des routes :

a- catégorie exceptionnelle d'une vitesse $V= 120\text{km/h}$: c'est une route avec de chaussées séparées.

b- Voirie primaire d'une vitesse $V= 100 \text{ Km/h}$: c'est un tracé en terrain facile et peu accident avec quelques agglomérations croisements.

c- Voirie secondaire d'une vitesse $V=80\text{Km/h}$: c'est une voirie qui est développée en terrain accidenté ou vallonné.

d- Voirie tertiaire d'une vitesse $V= 40 \text{ Km/h}$ à 60 Km/h : c'est une voirie qui présente des sections très difficiles, et dont le relief ne permet pas de réaliser une route.

I.3 Conclusion :

En conclusion dans ce chapitre, j ai revis les differentes chaussées, leur constitution, leur resistance ainsi que les éventuelles dégradations aussi vu leur classification dans differents pays ainsi que les types de chaussées réaliser en algerie.

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

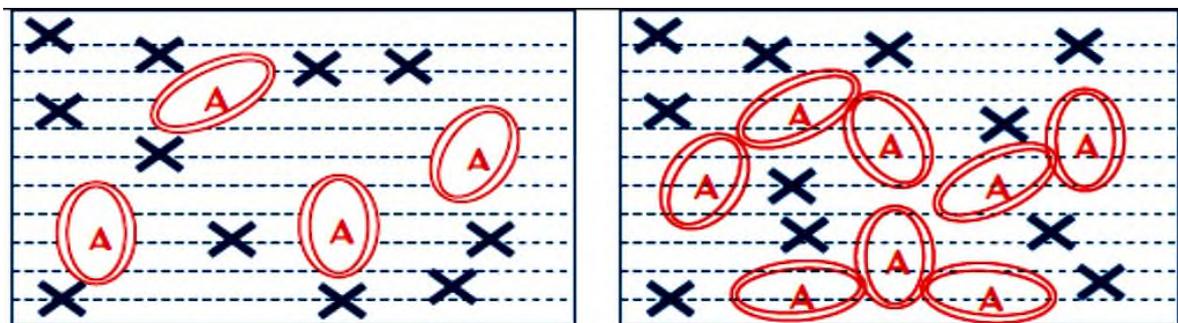
II.1 Les bitumes:

Les bitumes sont des substances composées de mélange d'hydrocarbures, très visqueux à la température ambiante et de couleur noire. Connus depuis la plus haute Antiquité sous forme naturelle, ils proviennent, de nos jours, presque exclusivement de la distillation des pétroles bruts.

Plus généralement, le bitume désigne tout mélange d'hydrocarbures extraits du pétrole par fractionnement qui, sous forme pâteuse ou solide est liquéfiable à chaud et adhère sur les supports sur lesquels on l'applique.

En construction routière, il sert de liant pour la réalisation de matériaux enrobés à chaud, tels que les bétons bitumineux ou les graves bitumes. Il entre également dans la fabrication d'enduits superficiels sous forme d'émulsion ou bien fluidifié par un solvant.

Le bitume est schématisé par les deux configurations extrêmes suivantes :



Bitume dit « sol » : dispersion complète des asphaltènes A dans le bitume ; bitume moins visqueux, mais plus susceptible à la température.

Bitume dit « gel » : amas d'asphaltènes A dans le bitume ; bitume plus visqueux, mais moins susceptible à la température.

Figure II.1: Représentation Schématique du Bitume.

Le bitume est utilisé dans l'industrie pour ses propriétés d'étanchéité et d'isolation (thermique et acoustique). Néanmoins, les applications routières sont les plus nombreuses puisque, en effet, 90% de la production de bitume est utilisée sous forme d'enrobés et d'enduits superficiels. Par ailleurs, on estime que la totalité des réserves mondiales de

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

pétrole brut devrait dépasser les 600Gt, ce qui laisse présager un long et bel avenir à cette industrie. SHELL BITUMES [1]

II.2 Historique des bitumes :

De l'Antiquité à la révolution industrielle , Il était connu à cette époque, pour cet usage (étanchéité), sous le nom de « bitume de Judée » notamment des Égyptiens, Hébreux et Sumériens car il existait à l'état naturel sur les bords de la mer Morte (mais aussi de la mer Caspienne). Il avait déjà de multiples emplois: Liant.

Produits pharmaceutiques servant notamment à la conservation des momies égyptiennes et cosmétologiques; mais surtout, et ce dans tout le bassin méditerranéen, au calfatage des navires.

C'est également grâce au bitume de Judée que Nicéphore Niépce inventera la photographie à Saint-Loup de Varennes en 1824 [1].

En 1627, une lettre patente autorisa son exploitation commerciale à Pechelbronn, en Alsace, d'une source qui produisait une « huile de pierre » réputée pour ses propriétés thérapeutiques. En 1741 fut constituée la première société pétrolière de l'histoire, pour exploiter à côté de la source **une veine de sable bitumineux** dont on tirait une graisse apte à remplacer le « vieux oing » et le suif. Le roi Louis XV, conscient de l'intérêt de cette exploitation, la confia par lettre patente du 5 août 1772 à un certain Le Bel. Cette s

De nos jours En construction routière, il sert de liant pour la réalisation de matériaux *enrobés à chaud*, tels que les bétons bitumineux ou les graves bitumes. Il entre également dans la fabrication d'enduits superficiels sous forme d'émulsion ou bien fluidifié par un solvant.

II.3 Fabrication du bitume :

Concernant les principaux modes de fabrication des bitumes, citons la distillation en raffinerie des pétroles bruts lourds contenant suffisamment de fractions lourdes pour produire du bitume. La première étape de ce processus consiste en une distillation atmosphérique qui permet de séparer les fractions légères du pétrole (essences, kérosène, gaz) des fractions lourdes, ces dernières étant ensuite distillées sous vide pour produire fuels, huiles et bitume. Outre la distillation, citons encore les procédés de soufflage et de désasphaltage.

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

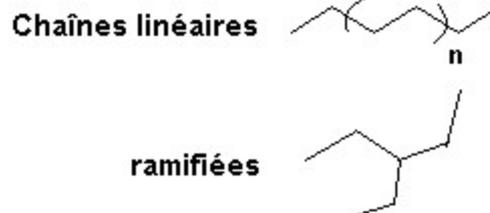
Le premier procédé consiste à oxyder les résidus sous vide par soufflage d'air chaud à 250 °C. Le deuxième procédé est, quant à lui, utilisé pour des résidus sous vide ayant une teneur en fractions lubrifiantes trop importante et consiste à traverser le résidu sous vide par un courant ascendant de solvant : la différence de solubilité des fractions bitumineuses vis-à-vis du solvant employé permet alors d'obtenir le bitume souhaité. Dans ce dernier cas, le bitume présente une faible pénétrabilité. F OLARD [2]

II.4 Composition et caractérisation chimique :

II.4.1 Composition :

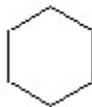
Le bitume se présente, à température ambiante, sous l'aspect d'un corps visqueux, plus ou moins viscoélastique, de couleur noire. Il est liquide à des températures supérieures à 100°C. L'analyse élémentaire d'un bitume met en évidence des atomes de carbone (80 à 87 % en masse) et d'hydrogène (8 à 12 %). En outre, des hétéroatomes tels que le soufre (1-9 %), l'azote (0 à 1,5 %) et l'oxygène (0,5 à 1,5 %) sont présents. On trouve également dans les bitumes des métaux (essentiellement vanadium (10-2000 ppm) ou nickel (20-200 ppm) mais aussi aluminium, silicium, chrome, cuivre, zinc, plomb, ...) à l'état de traces. La composition élémentaire d'un bitume dépend essentiellement de l'origine de son brut et d'une manière moindre, des techniques de raffinage. Le bitume est un mélange de composés hydrocarbonés de masses molaires et de structures chimiques variées, appartenant en majorité aux groupes aliphatiques et naphéniques. Les molécules des composés des bitumes sont constituées de motifs hydrocarbonés de quatre types :

□ **paraffiniques saturés linéaires ou ramifiés (chaînes linéaires sans cycle);**

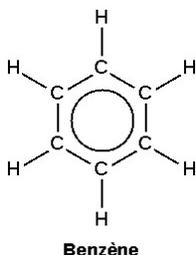


□ **naphéniques saturés cycliques (cycles à liaisons simples) ;**

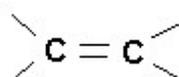
CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX



□aromatiques : présence d'au moins un cycle avec doubles liaisons de type benzène ;



□oléfines : chaînes contenant une ou plusieurs doubles liaisons.



Toutefois, rares sont les molécules constituées d'un seul de ces motifs. Ainsi il est possible de trouver des molécules constituées de cycles aromatiques et/ou naphthéniques sur lesquels sont greffées des chaînes saturées plus ou moins longues et ramifiées.

II.4.2 Caractérisation chimique des quatre grandes familles de constituants du bitume :

La diversité et le grand nombre de molécules présentes dans les bitumes rendent la détermination exacte de leur composition délicate à déterminer. Aussi, pour décrire globalement les divers constituants des bitumes, une approche « réductionniste » fondée sur la caractérisation chimique des « fractions » de bitumes a été développée. La stratégie consiste à séparer (extraction par des solvants, séparations chromatographiques,...) les constituants du bitume en « fractions » plus ou moins irréductibles, puis à les étudier séparément pour ensuite remonter aux propriétés observées. Cette approche comporte néanmoins des limites car la réactivité d'un système est toujours différente de la somme des réactivités des éléments qui le composent. R DUPAIN, R LANCHON, J C SAINT ARROMAN [3]

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

En suivant ce concept de fractionnement, l'identification chimique d'un bitume passe donc par la détermination qualitative et quantitative de ses constituants principaux que l'on peut regrouper en deux groupes génériques séparables :

Le premier groupe constitue **les Maltènes** et rassemble trois familles citées ci-dessous (saturés, aromatiques et résines) :

Les saturés : ce sont des huiles incolores ou légèrement jaunâtres composées principalement de molécules paraffiniques et de cycles naphthéniques. Elles représentent généralement moins de 10% d'un bitume. Leur masse moléculaire est de 300 à 2000 g/mole.

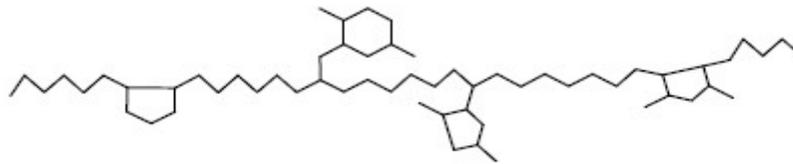


Figure II.2: Exemple de structures pour la fraction saturée des bitumes (Harlin, 1989) .L EL BEZE [4]

Les aromatiques : ce sont des huiles visqueuses de couleur rouge-brun sombre, avec 30 % de leurs atomes de carbone inclus dans des cycles aromatiques. Elles représentent 50 à 70% de la composition d'un bitume. Leur masse moléculaire est du même ordre que celle des saturés.

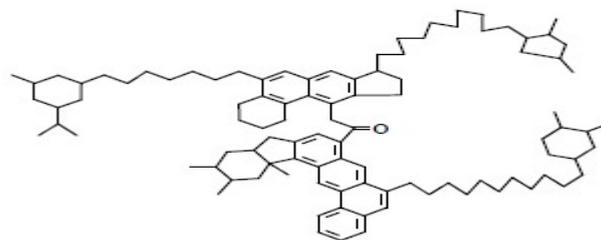


Figure II.3: Exemple de structures pour la fraction aromatique des bitumes (Harlin, 1989) .L EL BEZE [4]

Les résines : Ce sont des solides noirs qui fondent par chauffage et représentent environ 10% d'un bitume routier. Elles sont caractérisées par de nombreuses

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

ramifications, ce sont des systèmes condensés de cycles aromatiques, naphténiques et hétérocycliques. Elles présentent une plus grande proportion de composés aromatiques que les huiles. Leurs molécules sont plus grosses et la proportion des hétéroatomes est plus élevée. La courbe de distribution de leur masse moléculaire s'étale de 500 à 50000 g.mol⁻¹. Leur taille est comprise entre 1 et 5 nm.

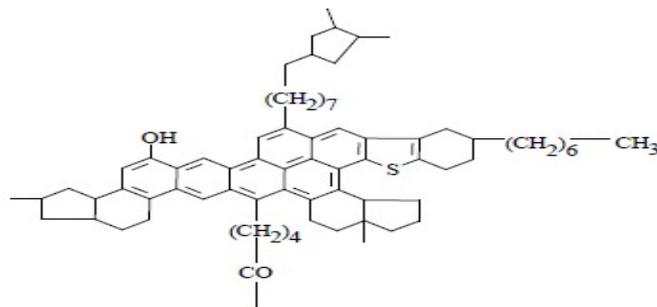


Figure II.4: Exemple de structures pour la fraction des résines des bitumes (Barth, 1962)
. L EL BEZE [4]

Les asphaltènes constituent le deuxième groupe : ils sont définis comme les solides qui précipitent dans un pétrole brut ou un bitume après addition d'un solvant tel que l'heptane ou le pentane. Ils représentent généralement entre 5 et 30 % du bitume. Ce sont des composés à structure condensée, cyclique et aromatique.

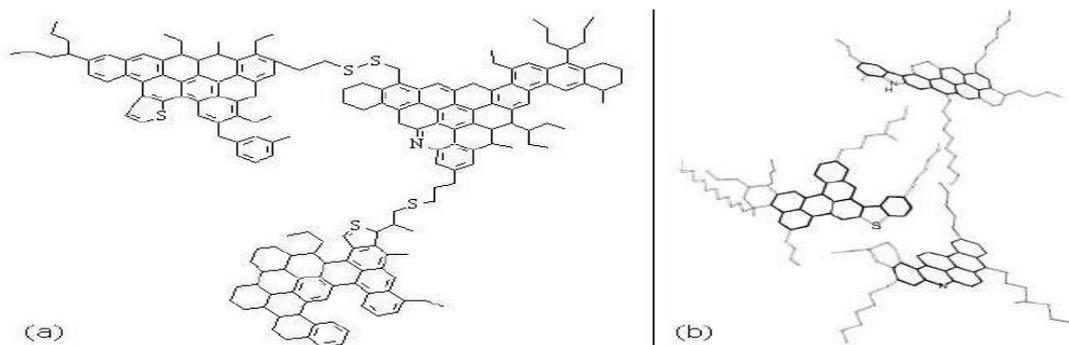


Figure II.5: Structure hypothétique des asphaltènes des bitumes,

a) d'après Yen (1991)

b) d'après Groenzin et Mullins (2000).L EL BEZE [4]

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

Le rapport carbone/ hydrogène (C/H) est souvent supérieur à 0,8 et la proportion des hétéroatomes est importante (jusqu'à 10%). Ils se présentent sous forme de solides noirs, cassants et brillants, et représentent la fraction de plus haut poids moléculaire (1000 à 100 000 g.mol⁻¹ dans la majorité des cas) et la plus aromatique du bitume. Leur taille varie de 5 à 30 nm.

Ces deux groupes rassemblent les quatre grandes familles de constituants du bitume qui sont séparées par leur différence de solubilité dans les solvants organiques : les asphaltènes précipitent dans le n-heptane, alors que les maltènes y sont solubles. Ces derniers sont ensuite séparés par Chromatographie Liquide à Haute Performance sur gel d'alumine. Trois fractions génériques sont ainsi obtenues (saturés, aromatiques et résines), en fonction de leur solubilité dans des solvants de polarité et aromaticité croissante : n-heptane, toluène, et un mélange toluène/méthanol 50/50.

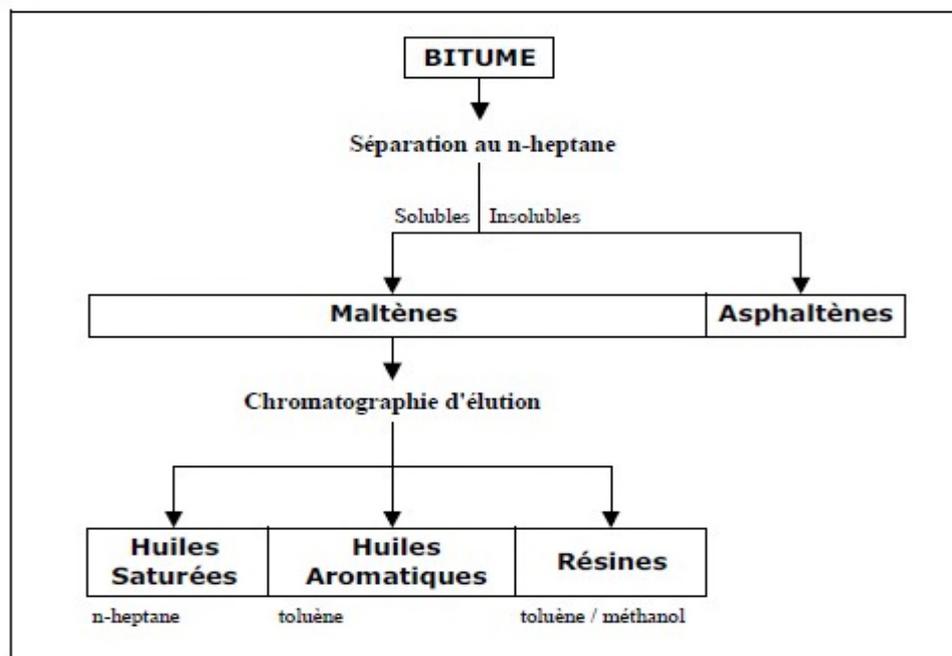


Figure II.6: Définition des fractions SARA (Satures, Aromatiques, Résines, Asphaltènes) d'un bitume. L EL BEZE [4]

Toutefois, en fonction des conditions expérimentales choisies (température à laquelle est effectuée la séparation, choix de la phase stationnaire,...), le taux et la nature des différentes familles ne sont pas les mêmes.

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

Aussi, les séparations entre les fractions génériques SARA (Saturés, Aromatiques, Résines, Asphaltènes) du bitume dépendent des limites opérationnelles,

c'est-à-dire de la solubilité dans des solvants différents, et il n'y a donc pas de distinction claire entre les composés de ces fractions. Les quatre fractions génériques du bitume sont donc considérées comme ne présentant pas de discontinuité entre elles (théorie du continuum). Le bitume doit être considéré comme un continuum chimique avec une augmentation progressive de la masse molaire, du degré d'aromaticité et de polarité, des saturés aux asphaltènes. Il est à noter que les proportions des différentes familles dépendent également de l'origine, du mode de fabrication et du grade du bitume étudié.

Une fois la composition chimique du bitume connue, il est tout aussi impératif de savoir apprécier la façon dont ces molécules vont s'associer pour former un édifice spatial tridimensionnel qui donne au bitume ses propriétés physiques et rhéologiques. L EL BEZE [4]

II.4.3 Principaux types de bitume :

Les bitumes obtenus par distillation du pétrole brut et destinés aux revêtements routiers sont raffinés pour répondre à des spécifications particulières ; c'est le cas du bitume routier qui entre dans le béton bitumineux, et qu'on nomme alors plus simplement : bitume. à l'état pur, les bitumes sont trop visqueux pour être utilisés tels quels, on doit abaisser leur viscosité par chauffage (120 °C à 160 °C). Mais on connaît deux autres façons de rendre le bitume temporairement (jusqu'à ce qu'il retrouve son état de base) fluide pour certains usages.

On peut procéder par solubilisation, habituellement dans un hydrocarbure, on parle alors de **bitumes fluidifiés ou liquides**. On peut aussi avoir recours à l'émulsification dans l'eau. on obtient alors **les émulsions de bitume**.

Lorsqu'on ajoute un polymère à l'un ou l'autre de ces liants pour améliorer une de ses propriétés, on parle de **bitumes composés**. Wikipédia [5]

II.5 Principales caractéristiques des bitumes routiers :

II.5.1 La mesure de pénétrabilité (NF EN 1426) :

La pénétrabilité représente la mesure de l'enfoncement d'une aiguille normalisée dans un bitume maintenu à une température donnée, au bout de 5 secondes sous une charge définie. Elle s'exprime en 1/10 mm. La pénétrabilité la plus utilisée

est celle mesurée à 25 °C et avec un chargement de 100g. Ainsi, à une température donnée, plus un bitume est dur, plus sa valeur de pénétrabilité est faible. L EL BEZE [4]

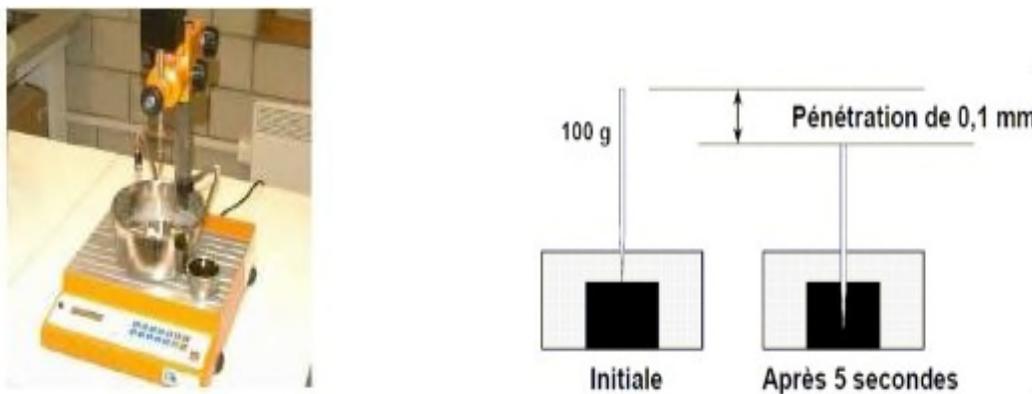


Figure II.7: Représentation de l'essai de pénétrabilité.

Il existe, en Algérie, trois classes de bitumes routiers qui sont dans le sens des duretés croissantes il s'agit 80/100, 40/50 et 20/30.

Pour mieux définir un bitume, on peut être amené à effectuer des essais à plusieurs températures, ce qui permet de tracer une courbe de pénétrabilité en fonction de la température, très utile pour apprécier la susceptibilité thermique du bitume. J BERTHIER [6]

II.5.2 La Température de ramollissement Bille et Anneau (TBA) (NF EN 1427):

C'est la température pour laquelle une bille d'acier s'enfonce à travers un disque de bitume contenu dans un anneau de métal dans des conditions définies de fabrication et d'essai.

A cette température, le bitume présente une structure interne telle que les contraintes auxquelles il est soumis, par les conditions même de l'essai, sont suffisantes pour permettre une déformation irréversible, elle-même définie.

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

Pour cela, une bille d'acier est placée sur un anneau de cuivre rempli préalablement de bitume ; l'ensemble est plongé dans un bain dont la température est élevée de 5°C par minute : la température de ramollissement est celle à laquelle la bille, entraînant la membrane de bitume, atteint un repère fixé. De bonnes corrélations existent entre la Température de ramollissement Bille et Anneau (TBA).et la résistance à l'orniérage pour les bitumes purs (conventionnels).

Ces deux derniers essais permettent de définir à quelle classe de pénétrabilité (ou grade) le bitume appartient ; L EL BEZE [4]

	unité	Classes								
		20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
Pénétrabilité	0.1 mm	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
TBA	C°	55-63	52-60	50-58	46-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38

Tableau II-1: Classification des bitumes selon la pénétrabilité et TBA.

Cet essai, plus le point de ramollissement est élevé plus le bitume est dur.B LOMBARDI [7]

II.5.3 La densité relative :

Quoique la densité relative ne soit pas normalement spécifiée, il est préférable de la connaître pour le bitume utilisé. Cette information est nécessaire pour faire les corrections de volumes à des températures élevées. Elle est aussi utilisée dans la détermination des vides dans les mélanges bitumineux compactés.

Par définition La densité relative est la proportion de la masse de n'importe quel volume du matériau à la masse d'un volume égale d'eau, les deux étant à une température spécifiée .Ainsi, une densité relative de 1.05 signifie que le matériau est 1.05 fois plus pesant que l'eau à la température indiquée. J G MALLOUK [8]

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

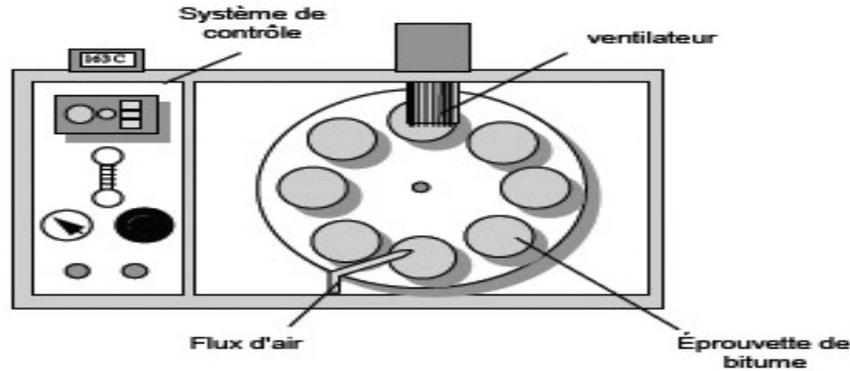


Figure II.8: Essai RTFOT.

Les bitumes 180-220 sont essentiellement utilisés pour la fabrication des émulsions et la réalisation d'enrobés fins mis en œuvre en couches minces.

Les bitumes 80-100, 60-70 et 40-50, s'ils sont également utilisés pour la fabrication des émulsions, sont surtout destinés à la confection des enrobés denses, des bétons bitumineux et des graves-bitumes. Les bitumes 20-30 sont principalement utilisés pour la confection des couches d'assise en sable-bitume. Dans le cas de sables de concassage, on peut également employer le bitume 40-50.

Sous des climats plus chauds, on peut utiliser des bitumes de dureté supérieure. J BERTHIER [6]

II.6 Classification des bitumes routiers :

Le tableau II-2 donne la classification des bitumes purs. Il faut souligner que cette classification est susceptible d'évolution, pour prendre en compte notamment le vieillissement que provoque l'élévation de température que subit le bitume au cours de l'enrobage. L'effet de cette élévation de température peut être simulé par l'essai RTFOT, Rolling Thin-Film Oven Test (norme ASTM D 2872) qui consiste à soumettre un échantillon de bitume à la température de 163 °C en étuve ventilée pendant 75 min. On mesure ensuite la température bille et anneau et la pénétration du bitume. Une évolution importante de ces deux grandeurs après RTFOT traduit une sensibilité excessive au vieillissement.

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

Classification des bitumes purs					
Qualité	180-220	80-100	60-70	40-50	20-30
Pénétrabilité (25 C°, 100g, 5s)..... (1/10mm)	180à220	70 à 100	50 à70	36 à50	20à30
Point de ramollissement Bille et Anneau (C°) Densité relative à 25 C°(méthode au picomètre)..... Perte de masse au chauffage (163 C°,5h)..... () Pourcentage de pénétrabilité restant après perte de masse au chauffage par rapport à la pénétrabilité initiale.....	34 à 43	42 à 48	46 à51	54à56	52à68
	1.00 à 1.07		1.0 à 1.10		
	2		1		
Point d'éclair (appareil Cleveland)..... (C°) Ductilité à 25 C°..... (Cm)	70	70	70	70	70
	230	230	230	250	250
	100	100	80	60	25
Solubilité dans la tétrachloroéthylène (C ₂ Cl ₄)... ()					
Teneur en paraffine ()	99.5				
	4.5				

Tableau II-2: classification des bitumes purs

II.7 LES ENROBES BITUMINEUX

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

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

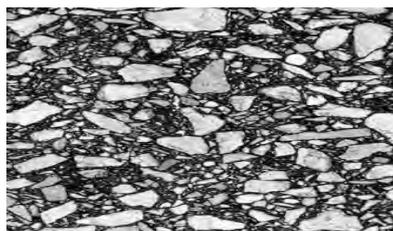


Figure II.9: Matériaux bitumineux

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

II.7.1 Composition des matériaux bitumineux :

➤ Liants hydrocarbonés:

Définition:

Les liants hydrocarbonés, qui jouent un rôle important dans la technique routière moderne, sont connus et utilisés depuis longtemps. Les propriétés d'adhésivité et l'imperméabilité des bitumes naturels et les asphaltes ont été connus depuis l'apparition de la civilisation dans la vallée de l'Euphrate en Mésopotamie (actuellement **Irak**, le berceau de la civilisation). (B.J.CARLOZZO [6]) (EUROVIA [7]) (USIRF [8])

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

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

➤ On distingue trois familles de liants hydrocarbonés:

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

Les goudrons, qui proviennent de la pyrogénéation, à l'abri de l'air, de matières d'origine végétal: houille, tourbe, bois, lignite...etc. J. BERTHIER [9]

Les bitumes, qui sont obtenus par raffinage des pétroles bruts et des résidus pétroliers. Le bitume présente des propriétés complexes, soit sur le plan de sa composition chimique ou soit sur sa réponse aux sollicitations mécaniques. Il possède un grand pouvoir adhésif pour agglomérer les matériaux minéraux et les empêcher de se désunir sous les diverses sollicitations. Les variations importantes de sa viscosité en fonction de la température permettent un mélange adéquat avec les granulats lors dans les différentes étapes de fabrication et de mise en œuvre de l'enrobé et par conséquent une bonne stabilité lors de l'exploitation de la chaussée, sous sollicitation mécaniques, thermiques et climatiques.

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

II.7.2 Fabrication industrielle et composition du bitume:

➤ Fabrication industrielle:

Le bitume utilisé aujourd'hui, à travers le monde, provient de façon presque exclusive du raffinage des pétroles riches en composants lourds, les " bruts à bitume". La plus grande partie de la production (80 à 90 %) est issue d'une double distillation : le brut, chauffé à plus de 300°C, est envoyé dans une colonne de fractionnement à la pression normale, c'est la distillation atmosphérique ; le produit récupéré en fond du tour est réchauffé à 400°C environ, puis introduit dans une colonne où règne une pression réduite, c'est la distillation sous-vide. (MAGAZINE:BITUME•INFO [10]) (L.EL BEZE [11]) (Figure II.10)

Suivant les conditions d'emploi et les propriétés recherchées, le bitume peut être utilisé pur ou en association avec d'autres composants. Il existe également des bitumes fluidifiés (par addition de solvants), des bitumes fluxés (mélange de bitume avec des huiles de houille et des dérivés pétroliers) et des bitumes modifiés par ajout de polymères.

Les différents procédés de fabrication, qui viennent faire l'objet d'une présentation très sommaire, permettent d'obtenir une gamme variée de produits tous désignés par l'appellation bitume.

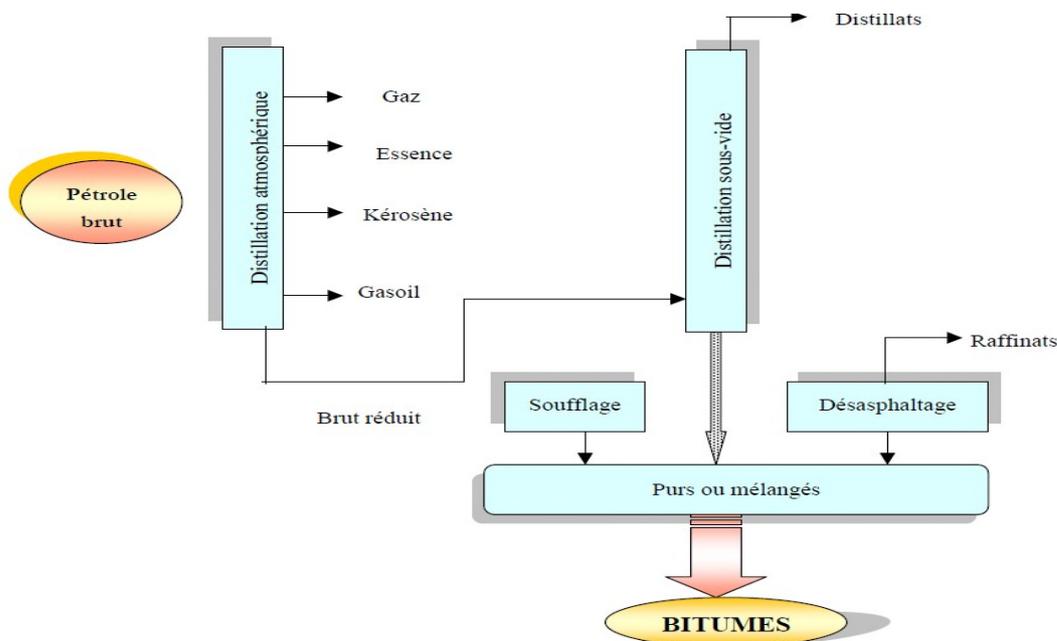


Figure II.10: Schéma général de la fabrication industrielle des bitumes (L.EL BEZE [11])

CHAPITRE II: BITUME ET ENROBES BITUMINEUX

II.8 CONCLUSION:

En conclusion dans ce chapitre, j'ai analysé le bitume, son historique, ses caractéristiques, ainsi que les étapes de sa fabrication ensuite la classification des bitumes routiers, aussi j'ai défini les enrobes bitumineux et leur fabrication industrielle qui utilisable sur la construction des chaussées algériennes.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

❖ INTRODUCTION :

Dans ce chapitre j'ai retracé un aperçu sur des formulations Algériennes : dosages en liant, en granulats, ainsi que les moyens utilisés par les laboratoires.

Les vérifications en question ont porté sur des études des formulations de grave bitume et de béton bitumineux établies par le laboratoire travaux publics Oran (LTPO) et le laboratoire d'ain temouchent au profit de l'entreprise (Mr :belhandouz dans ce projet sujet a l'étude) a partir de granulats 15/25-8/15-3/8-0/3- provenant de la carrière ENG TERGA .

Les vérifications sont établies par le laboratoire algerien LTPO sur le projet revêtement en béton bitumineux de la route nationale RN108 entre commune ain larbaa et commune oued sabah réalisé par l'entreprise société belhandouz.

En fonction des matériaux granulaires locaux, on choisi une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait donner une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné.

Les étapes de travail suivies par les laboratoires LTPO (ain temouchent et oran) sur projet de RN108 route nationale wilaya d' ain temouchent :

- ❖ Analyse granulométrique des différentes fractions de granulats
- ❖ (prélèvement des granulats ENG terga (entreprise belhandouz).
- Vérification de la résistance aux chocs (essai Los Angeles).
- Vérification de la résistance à l'usure en présence d'eau (essai Micro Deval).
- Vérification de la forme des granulats (essai d'aplatissement).
- Vérification de la propreté des granulats.
- Essai équivalent de sable.
- Masse volumique des granulats.
- ❖ ESSAIS SUR LE BITUME
- Vérification de la pénétrabilité du bitume.
- Vérification de la température de ramollissement du bitume.
- Vérification de la densité du bitume.
- ❖ ESSAIS SUR ENROBEE
- Méthode de kumagawa

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

- Essai duriez
 - Essai Marshall
- ❖ Carottage

III-1 LES ESSAIS SUR LES GRANULATS

III.1.1 Analyse granulométrique (EN FN 933-1)

➤ **But de l'essai :** L'analyse granulométrique consiste à classer en classes granulaires un Échantillon d'essai ou une masse de concassé ou roulé.

L'essai à pour but de déterminer en poids la distribution des grains du matériau, on sépare par Tamisage les plus gros éléments jusqu'à 0,08mm puis par sédimentation les éléments inférieurs à 0,08mm.

➤ **Principe d'essai :** L'analyse granulométrique consiste à fractionner des granulats au Moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissants Du haut vers le bas.

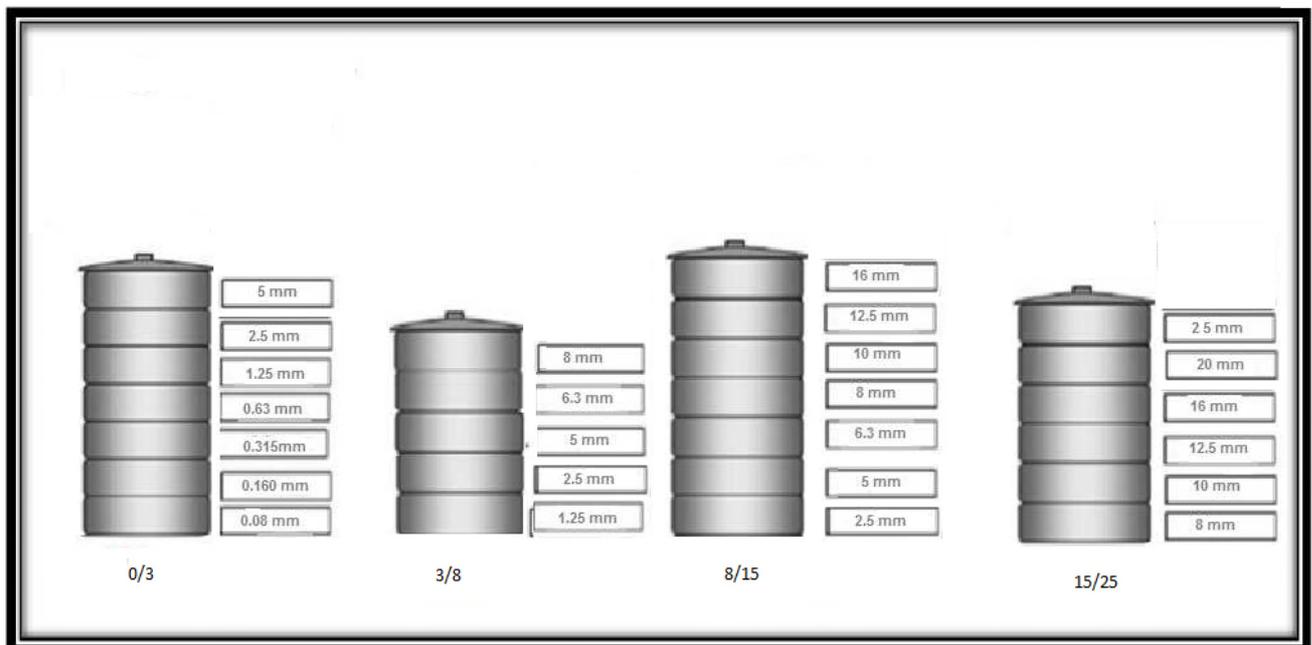


Figure III.1 : Les tamis utilisés selon les classes granulaires

- On trace la courbe granulométrique après le calcul du pourcentage des tamisâtes partiels par la formule suivante :

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

$$\text{Tamisa (i) \%} = 100 - \text{refus (i) \%}$$

- En abscisse : les dimensions des mailles en échelle logarithmique ;
- En ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique ;
- La courbe doit être tracée de manière continue.

Pour les granulats maîtrisés sur le terrain les techniciens des laboratoire prélèvent les échantillons granulaires au niveau notre willaya carrière d'ENG TERGA willaya AIN TEMOUCHENT ou se trouvent stocks matériaux de l'entreprise.



Figure III.2 : prelevement des granulats pour analyse au niveau du laboratoire

➤ Applications numériques au niveau du laboratoire (LTPO) Ain temouchent :

- **granulats 15/25 :**

ETAPE	FEUILLE DE PAILLASSE	ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE (NA 2607-92)		
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau 15/25			
1	Peser M 5000 g	200D <M< 500D		
2	Laver M sur tamis de 0.08			
3	Sécher le refus jusqu' à masse constante			
4	Peser le refus Ms 4978.6			
5	Procéder au tamisage et remplir le tableau ci après :			
	Ouverture des tamis en mm	Masse des refus cumulés Ri en gr	Pourcentage des refus Ri/Ms *100	Pourcentage des tamisas cumulés 100 – (Ri/Ms *100)
	31.5			
	25	00	00	100
	20	1191.41	23.93	76
	16	4328.94	86.95	13
	12.5	4907.54	98.57	1
	10	4976.96	99.96	0
	8			

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

Résultat	Rn = 4976.96
	Passant au dernier Tn=1.30
	Rn+ Tn = 4978.26
	100*(Ms (Rn+ Tn)/Ms) = (<2%)

Tableau III. 1 Analyse granulométrique par tamisage granulats 15/25

- granulats 8/15

ETAPE	FEUILLE DE PAILLASSE	ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE (NA 2607-92)			
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau 8/15				
1	Peser M 3000 g	200D <M< 500D			
2	Laver M sur tamis de 0.08				
3	Sécher le refus jusqu' à masse constante				
4	Peser le refus Ms 2946.37				
5	Procéder au tamisage et remplir le tableau ci après :				
		Ouverture des tamis en mm	Masse des refus cumulés Ri en gr	Pourcentage des refus Ri/Ms *100	Pourcentage des tamisas cumulés 100 -(Ri/Ms *100)
		20			
		16	69.67	2.37	97
		12.5	681.42	23.12	77
		10	1727.69	58.63	41
		8	2685.88	91.15	9
		6.3	2926.65	99.33	1
		5	2942.97	99.88	0
Résultat	Rn = 2942.97				
	Passant au dernier Tn=1.12				
	Rn+ Tn = 2944.09				
	100*(Ms (Rn+ Tn)/Ms) = (<2%)				

Tableau III. 2 Analyse granulométrique par tamisage granulats 8/15

- granulats 3/8 :

ETAPE	FEUILLE DE PAILLASSE	ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE (NA 2607-92)			
	Désignation du matériau 3/8				
1	Peser M 2000g	200D <M< 500D			
2	Laver M sur tamis de 0.08				
3	Sécher le refus jusqu' à masse constante				
4	Peser le refus Ms 1893.94				
5	Procéder au tamisage et remplir le tableau ci après :				
		Ouverture des tamis en mm	Masse des refus cumulés Ri en gr	Pourcentage des refus Ri/Ms *100	Pourcentage des tamisas cumulés 100 -(Ri/Ms *100)
		8	9.15	0.48	100
		6.3	278.44	14.7	85
		5	684.77	36.15	64
		2.5	1614.70	85.25	15
		1.25	1828.13	96.52	03
		0.63	1869.65	98.71	01
		0.315	1893.08	99.95	00

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

Résultat	Rn = 1893.08
	Passant au dernier Tn=0.51
	Rn+ Tn = 1893.59
	100*(Ms (Rn+ Tn)/Ms) = (<2%)

Tableau III. 3 Analyse granulométrique par tamisage granulats 3/8

- Sable: 0/3

ETAPE	FEUILLE DE PAILLASSE	ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE (NA 2607-92)			
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau sable 0/3				
1	Peser M 1000 g		200D <M< 500D		
2	Laver M sur tamis de 0.08				
3	Sécher le refus jusqu' à masse constante				
4	Peser le refus Ms 820.50				
5	Procéder au tamisage et remplir le tableau ci après :				
		Ouverture des tamis en mm	Masse des refus cumulés Ri en gr	Pourcentage des refus Ri/Ms *100	Pourcentage des tamis cumulés 100 –(Ri/Ms *100)
		5	00	00	100
		2.5	177.60	17.76	82
		1.25	416.90	41.69	58
		0.63	566.90	56.69	43
		0.315	663.50	66.35	34
		0.16	770.60	77.06	23
		0.08	815.90	81.59	18
Résultat					
	Rn = 815.90				
	Passant au dernier Tn=3.9				
	Rn+ Tn = 819.80				
	100*(Ms (Rn+ Tn)/Ms) = (<2%)				

Tableau III. 4 Analyse granulométrique par tamisage sable 0/3

Commentaire :

Les résultats sont acceptables selon les normes.

➤ **Résultat final obtenu au terme des essais réalisés figurant dans le tableau suivant:**

Désignation des essais	Fraction testée	Résultats obtenu	Valeur requises par les spécifications
ANALYSE GRANULOMETRIQUE NEP 18-560	15/25 8/15 3/ 0/3	Classe granulaire : 15/25 Classe granulaire : 15/8 Classe granulaire : 3/8 Classe granulaire : 0/3	Agrégat d/D Refus à D<15% Passant à D<15% Refus à 1.58 D =0% Passant 0.63 d<3%

Tableau III. 5 Résultat final Analyse granulométrique par tamisage

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

III.1.2 Essais de Propreté superficielle (NF P 18-591 septembre 1990)

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

➤ **Applications numériques au niveau du laboratoire (LTPO) Ain temouchent :**

- **granulats 15/25**

ETAPE	Propreté superficielle (NF P 18-591)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah <ul style="list-style-type: none">Désignation du matériau 15/25
1	Peser l'échantillon M1= 1500 g
2	tamiser à l'eau : 0.5 mm
3	récupérer le refus
4	étuver à 105 °C
5	Peser le refus soit M2= 1485.90
6	Calculer la différence M1-M2 =14.2
7	La propreté : P= M1-M2 *100 =0.95%

Tableau III. 6 Propreté superficielle granulats 15/25

- **granulats 8/15**

ETAPE	Propreté superficielle (NF P 18-591)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah <ul style="list-style-type: none">Désignation du matériau 8/15
1	Peser l'échantillon M1= 1500 g
2	tamiser à l'eau : 0.5 mm
3	récupérer le refus
4	étuver à 105 °C
5	Peser le refus soit M2= 1484.06
6	Calculer la différence M1-M2 =15.94
7	La propreté : P= M1-M2 *100 =1.06%

Tableau III. 7 Propreté superficielle granulats 8/15

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

- granulats 3/8

ETAPE	Propreté superficielle (NF P 18-591)
1	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah
2	• Désignation du matériau 3/8
3	Peser l'échantillon M1= 1500 g
4	tamiser à l'eau : 0.5 mm
5	recupérer le refus
6	étuver à 105 c
7	Peser le refus soit M2= 1480.90
	Calculer la différence M1-M2 =19.10
	La propreté : P= M1-M2 *100 =1.27%

Tableau III.8 Propreté superficielle granulats 3/8

Commentaire :

La propreté : P=0.95%, P=1.06%, P=1.27%, acceptable selon les normes.

➤ **Résultat final obtenu au terme des essais réalisés figurant dans le tableau suivant:**

Désignation des essais	Fraction testée	Résultats obtenu	Valeur requises par les spécifications
Essais de propreté NEP 18-591	15/25	P=0.5%	P<2%
	8/15	P=0.6%	
	3/8	P=0.9%	

Tableau III.9 Propreté superficielle des granulats

III.1.3 Essai d'aplatissement (EN FN 933-3 mars 1997) :

Plus les gravillons sont plats, moins leur mise en place dans la route ou dans les bétons est facile et plus ils sont fragilisés. 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.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

- Applications numériques au niveau du laboratoire(LTPO) Ain temouchent :
- granulats 15/25

ETAPE	FEUILLE DE PAILLASSE	MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT NF P 18-561 (10/78)		
1 2 3 4	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB			
	Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah			
	Désignation du matériau 15/25			
	Peser M 5000 g		200D <M< 600D	
	Tamiser M sur tamis 4m			
	Peser le refus Mo 4973.03			
	Procéder au tamisage de Mo sur la série de tamis et de grilles et remplir le tableau ci après :			
	Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles	
	Classes granulaires d/D (mm)	M (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (g)
	25-31.5			
20-25	1527.08	12.5	154	
16-20	2771.73	10	135.05	
12.5-16	601.87	8	17.09	
10-12.5	57.30	6.3	1.6	
8-10	15.05	5	0.7	
résultat	M=∑ Mg=4973.03		∑Me=308.44	
	A=∑Me/M*100 = 6.2			

Tableau III. 10 MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT granulats 15/25

- granulats 8/15

ETAPE	FEUILLE DE PAILLASSE	MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT NF P 18-561 (10/78)		
1 2 3 4	Désignation du matériau 8/15			
	Peser M 3000 g		200D <M< 600D	
	Tamiser M sur tamis 4m			
	Peser le refus Mo 2934.99			
	Procéder au tamisage de Mo sur la série de tamis et de grilles et remplir le tableau ci après :			
	Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles	
	Classes granulaires d/D (mm)	M (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (g)
	16-20	97.90	10	9.7
	12.5-16	721.53	8	91.70
	10-12.5	1004.30	6.3	80.30
8-10	882.93	5	68.98	
6.3-8	211.68	4	14.53	
5-6.3	13.15	3.15	1.03	
4-5	3.5	2.5	0.6	
résultat	A=∑ Mg=2934.99		∑Me=266.84	
	A=∑Me/M*100=9.09			

Tableau III. 11 MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT granulats 8/15

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

III.1.4 LA MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE

➤ Applications numériques au niveau de laboratoire LTPO Ain temouchent :

granulats 15/25 :

ETAPE	Masse volumique absolue (NA 255/1990)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau : 15/25
1	Choisir un échantillon de masse M tel que : 200D/M/600D M=500
2	Peser le pycnomètre au gramme près et déterminer sa masse P1=225
3	Remplir le pycnomètre jusqu'au repère et déterminer sa masse P2=1225
4	Mettre l'échantillon dans le pycnomètre vide et déterminer sa masse P3=725
5	Ajouter de l'eau dans le pycnomètre jusqu'au repère et peser l'ensemble soit P4=1539
6	Calculer la Masse volumique absolue du granulat par la relation suivante : $Pqbs = (p3-p1)/(p2-p1)-(p4-p3) = 2,688 \text{ g/ c m}^3$

Tableau III.14 Masse volumique absolue granulats 15/25

granulats 8/15

ETAPE	Masse volumique absolue (NA 255/1990)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau : 8/15
1	Choisir un échantillon de masse M tel que : 200D/M/600D M=500
2	Peser le pycnomètre au gramme près et déterminer sa masse P1=225
3	Remplir le pycnomètre jusqu'au repère et déterminer sa masse P2=1225
4	Mettre l'échantillon dans le pycnomètre vide et déterminer sa masse P3=725
5	Ajouter de l'eau dans le pycnomètre jusqu'au repère et peser l'ensemble soit P4=1538
6	Calculer la Masse volumique absolue du granulat par la relation suivante : $Pqbs = (p3-p1)/(p2-p1)-(p4-p3) = 2,673 \text{ g/ c m}^3$

Tableau III.15 Masse volumique absolue granulats 8/15

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

granulats 3/8 :

ETAPE	Masse volumique absolue (NA 255/1990)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau : 3/8
1	Choisir un échantillon de masse M tel que : 200D/M/600D M=500
2	Peser le pycnomètre au gramme près et déterminer sa masse P1=225
3	Remplir le pycnomètre jusqu'au repère et déterminer sa masse P2=1225
4	Mettre l'échantillon dans le pycnomètre vide et déterminer sa masse P3=725
5	Ajouter de l'eau dans le pycnomètre jusqu'au repère et peser l'ensemble soit P4=1536
6	Calculer la Masse volumique absolue du granulat par la relation suivante : $P_{qbs} = (p_3 - p_1) / (p_2 - p_1) - (p_4 - p_3) = 2,645 \text{ g/ c m}^3$

Tableau III.16 Masse volumique absolue granulats 3/8

Sable 0/3 :

ETAPE	Masse volumique absolue (NA 255/1990)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau : sable 0/3
1	Choisir un échantillon de masse M tel que : 200D/M/600D M=500
2	Peser le pycnomètre au gramme près et déterminer sa masse P1=225
3	Remplir le pycnomètre jusqu'au repère et déterminer sa masse P2=1225
4	Mettre l'échantillon dans le pycnomètre vide et déterminer sa masse P3=725
5	Ajouter de l'eau dans le pycnomètre jusqu'au repère et peser l'ensemble soit P4=1535
6	Calculer la Masse volumique absolue du granulat par la relation suivante : $P_{qbs} = (p_3 - p_1) / (p_2 - p_1) - (p_4 - p_3) = 2,631 \text{ g/ c m}^3$

Tableau III.17 Masse volumique absolue sable 0/3

Commentaire :

$P_{qbs} = 2,607 \text{ g/c m}^3$ acceptable selon les normes.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

III.1.5 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS

➤ Applications numériques au niveau de laboratoire LTPO Ain temouchent :

granulats 15/25 :

ETAPE	Masse volumique apparente des granulats (NA 255/1990)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau : 15/25
1	Choisir un échantillon de masse M tel que : 200D/M/600D
2	Peser le récipient au gramme près soit M1 sa masse =1504
3	Mettre l'échantillon dans le récipient de masse M1 et de volume connu V1=1000cm ³
4	Araser le récipient
5	Peser le récipient rempli de matériau soit M2 sa masse= 2805g/ c m ³
6	Calculer la Masse volumique apparente du granulat par la relation suivante : $P_{app} = M2 - M1 / V = 1.301 \text{ g/ c m}^3$

Tableau III.18 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS 15/25

granulats 8/15 :

ETAPE	Masse volumique apparente des granulats (NA 255/1990)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau : 8/15
1	Choisir un échantillon de masse M tel que : 200D/M/600D
2	Peser le récipient au gramme près soit M1 sa masse =1504
3	Mettre l'échantillon dans le récipient de masse M1 et de volume connu V1=1000cm ³
4	Araser le récipient
5	Peser le récipient rempli de matériau soit M2 sa masse= 2832g/ c m ³
6	Calculer la Masse volumique apparente du granulat par la relation suivante : $P_{app} = M2 - M1 / V = 1.328 \text{ g/ c m}^3$

Tableau III.19 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS 8/15

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

granulats 3/8 :

ETAPE	Masse volumique apparente des granulats (NA 255/1990)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau : 3/8 Choisir un échantillon de masse M tel que : 200D/M/600D
1	Peser le récipient au gramme près soit M1 sa masse =1504
2	Mettre l'échantillon dans le récipient de masse M1 et de volume connu
3	V1=1000cm ³ Araser le récipient
4	Peser le récipient rempli de matériau soit M2 sa masse= 2855 g/ c m ³
5	Calculer la Masse volumique apparente du granulat par la relation suivante :
6	$P_{app} = M2 - M1 / V = 1.351 \text{ g/ c m}^3$

Tableau III.20 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS 3/8

Sable 0/3 :

ETAPE	Masse volumique apparente des granulats (NA 255/1990)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Désignation du matériau : sable 0/3
1	Choisir un échantillon de masse M tel que : 200D/M/600D
2	Peser le récipient au gramme près soit M1 sa masse =1504
3	Mettre l'échantillon dans le récipient de masse M1 et de volume connu V1=1000cm ³
4	Araser le récipient
5	Peser le récipient rempli de matériau soit M2 sa masse= 3056 g/ c m ³
6	Calculer la Masse volumique apparente du granulat par la relation suivante :
	$P_{app} = M2 - M1 / V = 1.552 \text{ g/ c m}^3$

Tableau III.21 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES GRANULATS Sable 0/3

Commentaire :

P_{app}(Masse volumique apparente)est acceptable selon les normes.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

III.1.6 Essai Los-Angeles

C'est un essai normalisé de la mesure de la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats, norme française P 18-573 [193]. Il mesure la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant aux chocs de boulets normalisés. La machine comporte un cylindre creux en acier de 12 mm ± 0,5 mm d'épaisseur, fermé à ses deux extrémités, ayant un diamètre intérieur de 711 mm ± 2 mm et une longueur intérieure de 508 mm ± 2 mm. Les boulets sphériques en acier sont d'un diamètre de 47 mm ± 1 mm et pèsent entre 420 et 445 g. La vitesse de rotation de la machine est entre 30 et 33 tr/min. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les six classes :

4/6,3 mm, 6,3/10 mm, 10/14 mm, 10/25 mm, 16/31,5 mm, 25/50 mm. La masse de l'échantillon pour essai sera de 5 000 g ± 5 g. Le résultat est calculé par l'équation suivante :

$$LA=100 \frac{m}{5000}$$

- LA : est le coefficient Los Angeles ;
- m : est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm, en grammes.

➤ Applications numériques au niveau de laboratoire LTPO Ain temouchent :

ETAPE	Essai Los-Angeles (NF P 18-573)
	Intitulé de l'affaire : revêtement en BB Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah
1	Laver l'échantillon
2	Etuver l'échantillon
3	Définir la classe granulaire choisie 8/15
4	Poser 5000g
5	Définir le nombre de boulet :11
6	Déterminer la masse des boulet : 4840
7	Mettre le machine en marche Pour la classe 8-15 500 rotation
8	Recueillir le matériau
9	Tamiser le matériau un tamis :1.6mm

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

10	Laver le matériau sur le tamis : 1.6mm
11	Etuver le refus : 105 °C
12	Peser le refus en gramme $m = 3890$
14	Calculer le pourcentage $LA = 100 (5000 - m) / 5000$ $LA = 22\%$

Tableau III.22 tableau Essai Los-Angeles

Commentaire :

LA=22%, acceptable selon les normes.

- **Résultat final obtenu au terme de cet essai réalisé figurant dans le tableau suivant:**

Désignation des essais	Fraction testée	Résultats obtenu	Valeur requises par les spécifications
Essai Los-Angeles NEP 18-572	8/15	LA=22%	LA <25%

Tableau III.23 RESULTAT FINAL Essai Los-Angeles

III.1.7 Essai Equivalent de sable (NF P18-598) :

L'essai d'équivalent de sable à 10% de fines permet de mesurer la propreté d'un sable sur la fraction passant au tamis de 2mm, et dont la proportion des éléments fins passant au tamis de 0.08mm a été ramenée à 10% à l'aide d'un sable correcteur.

L'essai consiste à introduire la fraction 0/2mm d'un sable ayant 10% de fines dans une Éprouvette graduée, puis à séparer les fines des éléments plus grossiers par immersion et Agitation dans une solution flocculant de chlorure de calcium. Après un repos de 20 min, la Hauteur de sédiment (h2) et la hauteur totale de sédiment + la hauteur de flocculat (h1) sont Mesurées.

On en déduit l'équivalent de sable. Plus le résultat est élevé, plus les fines sont moins argileuses.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

➤ Applications numériques au niveau de laboratoire LTPO Ain temouchent :

ETAPE	Essai Equivalent de sable
	Intitulé de l'affaire : revêtement de la RN108
	Désignation du matériau : sable 0/3
1	Tamiser l'échantillon sous l'eau sur le tamis de : 2mm
2	Sécher le refus à l'étuvé pour l'amener à une teneur en eau comprise entre 1% et 3% la masse de l'échantillon recueilli doit être d'environ : 1500 g
3	Préparer quatre échantillons à partir du matériau recueilli
4	Déterminer la teneur en eau w en % du premier échantillon de masse m_{h1} sur une prise de 100 à 200 g par la relation $W = \frac{m_{h1} - m_s}{m_{h1}} = 0\%$
5	Tamiser le deuxième échantillon de masse M_{h2} sous l'eau sur le tamis de 0.08 mm
6	Sécher et peser le refus à 0.08mm soit M_s sa masse en gramme : $M_s = 288.05$
7	Calculer la teneur en fines f par la relation suivante : $f = 100 - \frac{m_s(100 + w/100)}{M_{h2}} = 23.18$
8	Déterminer la masse M_o refus à 0.08mm : $M_o = 68.24$
9	Si $f < 11\%$ correction non nécessaire effectuer et 4ème échantillon dont la masse est égale à $a = 120(1 + x/100)$
10	Si $f < 11\%$ prendre une masse égale à : $1200/f(1 + w/100) = 51.76g$
11	Ajouter à cette masse la quantité de sable correcteur déterminé à l'étape N 8 de telle façon à obtenir un échantillon pour essai de masse $M = M_{h3} + M_{cs} = 120$
12	Exécuter les mesures d'ES sur deux échantillons de masse $M = 120g$ selon la norme NFP18-589
13	Mesure h1 Ech 1 = 13 Ech 2 = 13.5 Mesure h2 Ech 1 = 9.8 Ech 2 = 10
14	Calculer l'équivalent de sable par la relation suivante : $P_s = 100 * h_2 / h_1$ $P_{s1} = 75.40, P_{s2} = 74.10$
15	Calculer la moyenne des deux résultats obtenus : $P_{Smoy} = 74.80$

Tableau III.24 RESULTAT FINAL Essai Equivalent de sable

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

➤ **Résultat final obtenu au terme de cet essai réalisé figurant dans le tableau suivant:**

Désignation des essais	Fraction testée	Résultats obtenu	Valeur requises par les spécifications
Equivalent de sable à 10% NFP 18-572	0/3	ES=74.80 % FINES =18%	ES ≥65 12% < % fines < 22%

Tableau III.25 tableau Résultat final Essai Equivalent de sable

Commentaire :

ES ≥ 65% acceptable selon les normes.

III.1.8 Essai d'usure micro-Deval

L'essai micro-Deval permet de mesurer la résistance à l'usure des granulats, selon la norme française P 18-572 [192]. C'est un essai normalisé destiné à caractériser l'usure par frottements réciproques en présence d'eau d'un gravillon et consiste à mesurer la quantité de fines produites lors de la rotation d'un cylindre contenant le matériau et de l'eau. Il comporte un à quatre cylindres creux, fermés à une extrémité, ayant un diamètre intérieur de 200 mm ± 1 mm et une longueur utile de 154 mm ± 1 mm pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm et de 400 mm ± 2 mm pour les 25 - 50 mm. L'usure est réalisée à l'aide des billes sphériques de 10 mm ± 0,5 mm de diamètre en acier. La vitesse de rotation est de 100tr/min ± 5 tr/min. La

granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires : 4/6,3 mm, 6,3/10 mm, 10/14 mm et 25/50 mm. Le résultat s'exprime sous la forme du coefficient micro-Deval en présence d'eau (MDE) :

$$MDE = 100 \frac{m}{M} = 100 \frac{M - m'}{M}$$

Où m est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm ;

M est la masse sèche de l'échantillon pour essai (500 ou 10 000 g) ;

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

m 'est la masse sèche de la fraction du matériau refusé après l'essai au tamis de 1,6 mm.

- **Applications numériques au niveau de laboratoire LTPO D'ORAN :**
- **Résultat final obtenu au terme de cet essai réalisé figurant dans le tableau suivant:**

Désignation des essais	Fraction testée	Résultats obtenu	Valeur requises par les spécifications
Essais MICRO-DEVAL NEP 18-572	8/15	MDE=15%	MDE<20%

Tableau III.26 tableau Résultat final Essai d'usure micro-Deval

Commentaire :

MDE=15% acceptable selon les normes.

- **Courbe d'analyse granulométrique des agrégats :**

Les granulats de la Carrière ENG TERGA présentent des caractéristiques intrinsèques satisfaisantes aux exigences de la norme XPP 18 - 545 avec des caractéristiques de fabrication qui les classent dans la catégorie III. Les caractéristiques de fabrication du sable le classent dans la catégorie A.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

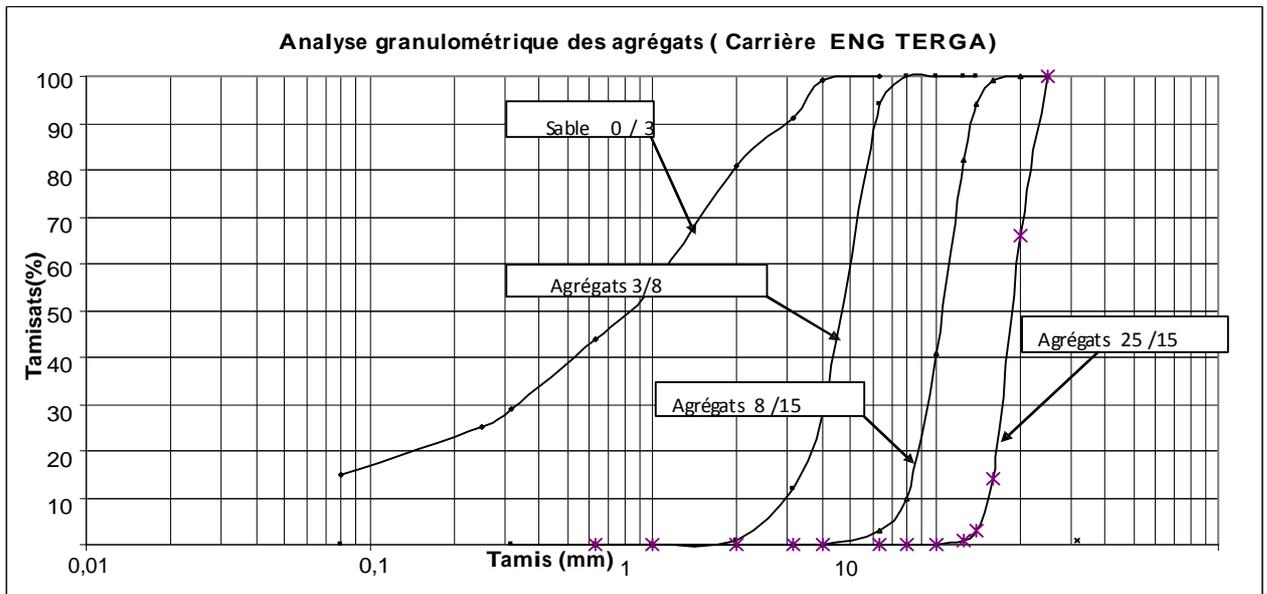


Figure III.3 : Courbe d'analyse granulométrique des agrégats

III.2 ESSAIS SUR LE BITUME

➤ **Applications numériques au niveau de laboratoire ITPO d'oran :**

L'échantillon de bitume, fourni par le client, utilisé pour les besoins des études de formulation a été soumis aux essais suivants :

- Essais de pénétrabilité 25 c
- Mesures du point de ramollissement (TBA)
- Mesures de la densité relative à 25 c

➤ **Application au projet au niveau du laboratoire :**

➤ **Les résultats des essais sont regroupés dans le tableau suivant :**

Désignation des essais	Résultats obtenus	Spécification
- pénétrabilité 25 c -100g-5s	41	40 à 50 1/10mm
- TBA (c) NFT 66-008	50	47 à 60 °C
- densité relative à 25 c NFT 66-007	1.035	1 à 1.1

Tableau III.27 tableau Les résultats des essais sur le bitume

Remarque : Les valeurs obtenues caractérisent dans un bitume de classe 40/50

Commentaire :

Les résultats acceptables selon les normes.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

III.3 Essais sur enrobé :

III.3.1 Essai d'extraction à chaud (méthode KUMAGAWA NFT 66-001)

L'essai d'extraction à chaud par la méthodes KUMAGAWA a pour but de déterminer la teneur en liant d'un matériau enrobé par différence de poids avant et après dé enrobage .

Les résultats obtenus à l'issue de l'essai réalisé sur des échantillons de grave bitume et béton bitumineux fournis par le client de sa centrale d'enrobage et fabriqué selon la formulation présentée au moyen de granulats provenant de la carrière ENG TERGA sont regroupés dans le tableau suivant :

Date de prélèvement	Lieu de prélèvement	Teneur en liant (%) formulation	Teneur en liant formulation	Teneur en élts fins (%)	Module de richness	Obs.
Par le client	Centrale d'enrobage	4.11	4.14	8	2.48	GB 0/20
Par le client	Centrale d'enrobage	5.81	5.88	7	3.56	BB 0/14

Tableau III.28 tableau de prélèvement teneur en liant centrale d'enrobage

- Les teneurs en liant mesurées sur les échantillons de grave bitume GB 0/20 prélevés enregistrent une moyenne de 4.11% cette valeur est acceptable comparativement aux tolérances admis (+/-5%) par rapport à la teneur fixée par la formulation prise égale à 4.14% .
- Les teneurs en liant mesurées sur les échantillons de béton bitumineux BB 0/14 prélevés est de 5.81% . cette valeur est acceptable aux tolérances admises (+/-5%) par rapport à la teneur fixée par la formulation prise , elle ; égale à 5.88%
- Les teneurs en élément fins se positionnent a la limite inférieure de la fourchette de valeurs fixées par les spécifications (6 à 9% pour une couche de basse en grave bitume avec des tolérances de +/-2% en valeur absolue) et (7à10% pour une couche de roulement en béton bitumineux avec des tolérances de +/-2% en valeur absolue).
- Les modules de richesse calculés sur les mélanges prélevés se situent dans la fourchette de valeurs préconisées par les spécifications (2à2.60 pour un grave bitume) et (3 à 3.60 pour un béton bitumineux)

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

- Les températures relevées à la mise en œuvre sont acceptables , elles s'intègrent dans la page fixée par les spécifications pour le répanâge des enrobés à chaud (135 à 155°C avec un minimum de 130°C).

➤ **Application au projet au niveau du laboratoire Extraction à chaud KUMAGAWA**

ETAPE	Extraction à chaud KUMAGAWA Mode Opérateur
	<p>Intitulé de l'affaire : revêtement en GB 0/20 Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah Température 149 c</p> <p>1 Sécher la cartouche à l'étuve à 120 c jusqu'à poids constant soit P1 (à0.05g) :P1= 25.12</p> <p>2 Introduire dans la cartouche la quantité de matériau enrobé et peser le tout soit P2=490.82</p> <p>3 Peser le poids de la prise d'essai P3=P2-P1 :P3=465.70</p> <p>4 Remplir le ballon jusqu'à moitié avec du toluène et placer la cartouche dans son panier à l'intérieur du ballon .</p> <p>5 Monter le décanteur et le collier de serrage ,adapter ,le réfrigérant et l'alimenter en eau</p> <p>6 Brancher le chauffe ballon ,régler la température en cours d'essai de telle sorte que l(enrobé soit complètement immergé dans le solvant sans que celui-ci ne déborde de la cartouche .</p> <p>7 Lorsque le solvant coule clair ,arrêter l'extraction jusq'à égouttage total de la cartouche puis remettre en marche .l'extraction est terminée lorsque le solvant coule à nouveau clair</p> <p>8 Laisser refroidir l'appareil et égoutter la cartouche ,retirer la cartouche de l'extracteur et la placer dans une étuve ventilée à 120c jusqu'à l'obtention d'un poids contant P4=471.68</p> <p>9 Déterminer le poids du matériau désenrobé P5=P4-P1 : P5=446.56</p> <p>10 Déterminer le poids du liant P6=P3-P5 :P6=19.14</p> <p>11 Déterminer la teneur en liant par rapport aux granulat P6/P5*100 : teneur =4.29</p> <p>12 Déterminer la teneur en liant par rapport à l'enrobé P6/P3*100 :teneur 4.11</p> <p>13 Calculer la surface spécifique du mélange $\Sigma=0.25G+2.3S+12S+135F= 1095.50$ EN m2/kg</p>

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

14	<p>Calculer le module de richesse du bitume $K = \frac{\% \text{bitume}}{5 \sum} = 3.02$</p> <p>G :% élément mm-S : 0.315 <% d'éléments <6.3mm-s:0.08<% d'éléments <0.315mm</p> <p>F:% d'éléments <0.08mm</p>
----	---

ETAPE	FEUILLE DE PAILLASSE	ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE (NA 2607-92)					
	Désignation du matériau : GB 0/20						
1	Peser M 446.56 g	200D <M< 500D					
2	Laver M sur tamis de 0.08						
3	Sécher le refus jusqu' à masse constante						
4	Peser le refus Ms 411.81						
5	Procéder au tamisage et remplir le tableau ci après :						
	Ouverture des tamis en mm	Masse des refus cumulés Ri en gr	Pourcentage des refus Ri/Ms *100				
	31.5						
	25	00	100				
	20	4.6	99				
	16	57.52	87				
	12.5	87.49	80				
	10	130.01	71				
	8	143.71	68				
	6.3	177.11	60				
	5	258.12	42				
	2.5	322.11	28				
	1.25	344.79	23				
	0.63	356.9	20				
	0.315	384.31	14				
	0.16	398.07	11				
	0.08	407.40	09				
Résultat	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Rn = 407.40</td> </tr> <tr> <td>Passant au dernier Tn=1.68</td> </tr> <tr> <td>Rn+ Tn = 409.08</td> </tr> <tr> <td>100*(Ms (Rn+ Tn)/Ms) = 0.24 (<2%)</td> </tr> </table>			Rn = 407.40	Passant au dernier Tn=1.68	Rn+ Tn = 409.08	100*(Ms (Rn+ Tn)/Ms) = 0.24 (<2%)
Rn = 407.40							
Passant au dernier Tn=1.68							
Rn+ Tn = 409.08							
100*(Ms (Rn+ Tn)/Ms) = 0.24 (<2%)							

Tableau III.29 tableau Extraction à chaud KUMAGAWA GB 0/20

Remarque :

- LES COURBES DES ENROBEES

Les courbes granulométriques de mélanges dés enrobés s'intègre dans les fuseaux de référence (GB 0/20 –BB 0/14 – semi-grenu).

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

ETAPE	Extraction à chaud KUMAGAWA Mode Opérateur
	<p>Intitulé de l'affaire : revêtement en BB</p> <p>Projet :RN108 entre AIN el arbaa et sebbah</p> <p>Température 149 c</p> <p>1 Sécher la cartouche à l'étuve à 120 c jusqu'à poids constant soit P1 (à 0.05g) :P1= 27.85</p> <p>2 Introduire dans la cartouche la quantité de matériau enrobé et peser le tout soit P2=549.18</p> <p>3 Peser le poids de la prise d'essai P3=P2-P1 :P3=521.33</p> <p>4 Remplir le ballon jusqu'à moitié avec du toluène et placer la cartouche dans son panier à l'intérieur du ballon.</p> <p>5 Monter le décanteur et le collier de serrage, adapter ,le réfrigérant et l'alimenter en eau</p> <p>6 Brancher le chauffe ballon, régler la température en cours d'essai de telle sorte que l(enrobé soit complètement immergé dans le solvant sans que celui-ci ne déborde de la cartouche .</p> <p>7 Lorsque le solvant coule clair, arrêter l'extraction jusqu'à égouttage total de la cartouche puis remettre en marche .l'extraction est terminée lorsque le solvant coule à nouveau clair</p> <p>8 Laisser refroidir l'appareil et égoutter la cartouche, retirer la cartouche de l'extracteur et la placer dans une étuve ventilée à 120c jusqu'à l'obtention d'un poids constant P4=520.62</p> <p>9 Déterminer le poids du matériau dés enrobé P5=P4-P1 :P5=492.77</p> <p>10 Déterminer le poids du liant P6=P3-P5 :P6=28.56</p> <p>11 Déterminer la teneur en liant par rapport aux granulat $P6/P5*100$: teneur =5.80</p> <p>12 Déterminer la teneur en liant par rapport à l'enrobé $P6/P3*100$ teneur =5.48</p> <p>13 Calculer la surface spécifique du mélange $\Sigma=0.25G+2.3S+12S+135F= 1073.51$ EN m²/kg</p> <p>14 Calculer le module de richesse du bitume $K=\%bitume/5\Sigma=3.61$</p> <p>G :% élément mm-S : 0.315 <% d'éléments <6.3mm-s:0.08<% d'éléments <0.315mm</p> <p>F:% d'éléments <0.08mm</p>

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

ETAPE	FEUILLE DE PAILLASSE	ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE (NA 2607-92)	
	Désignation du matériau BB 0/14		
1	Peser M 492.77g	200D <M< 500D	
2	Laver M sur tamis de 0.08		
3	Sécher le refus jusqu' à masse constante		
4	Peser le refus Ms 462.86		
5	Procéder au tamisage et remplir le tableau ci après :		
	Ouverture des tamis en mm	Masse des refus cumulés Ri en gr	Pourcentage des refus Ri/Ms *100
	31.5		
	25	00	00
	20	00	00
	16	11.64	2.36
	12.5	40.73	8.27
	10	112.53	22.84
	8	160.43	32.56
	6.3	187.26	38.00
	5	230.44	46.76
	2.5	344.28	69.87
	1.25	396.52	80.47
	0.63	419.28	85.09
	0.315	431.66	87.60
	0.16	446.38	90.59
	0.08	460.32	93.41
Résultat	Rn = 460.32		
	Passant au dernier Tn=1.2		
	Rn+ Tn = 461.52		
	100*(Ms (Rn+ Tn)/Ms) = 0.29 (<2%)		

Tableau III.30 tableau Extraction à chaud KUMAGAWA BB 0/14

III.3.2 Essai de performance Marshall (NEP 986251-2) :

Le concept de l'essai Marshall était développé par Bruce Marshall en 1948 au Mississippi State Highway Department, USA. (J.Zhang, E. R. Brown, P.S. Kandhal, R.West [41])

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

Ces derniers facteurs permettent de donner des indications sur la qualité globale de l'enrobé dont le choix et le dosage des constituants pour obtenir une meilleure composition ou une

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

formulation à adopter pour un enrobé. (La stabilité présente un maximum pour une certaine teneur en bitume, puis elle décroît).

➤ Principe de l'essai :

L'essai de stabilité Marshall est un essai de compression exercée suivant la génératrice d'une éprouvette cylindrique semi-frettée (photo III.4). Cette compression est appliquée sur l'éprouvette après ½ heure d'immersion dans un bain d'eau à 60°C, et à la vitesse de 0,85 mm/s \pm 0,1mm/s.

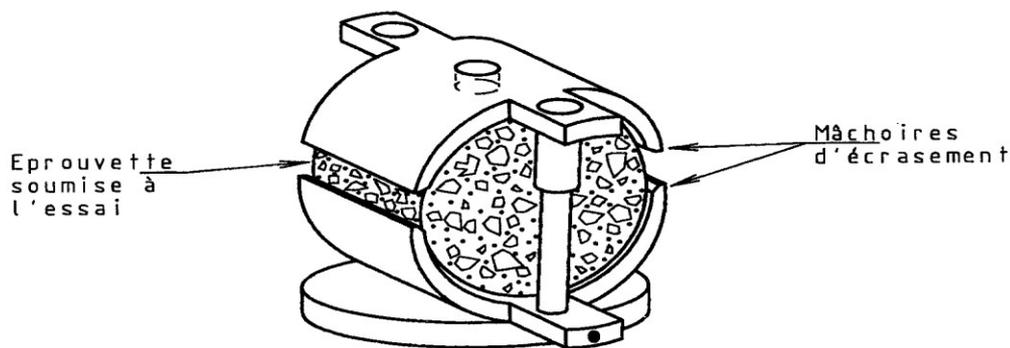


Figure III.4 : Principe de l'essai Marshall

➤ Déroulement de l'essai

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

On immerge les éprouvettes dans le bain thermostatique réglé à 60°C \pm 0,5 °C avec les mâchoires d'écrasement pour une durée de 30 mn (\pm 1 mn). Photo (III.5)

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

L'éprouvette est placée dans les mâchoires d'écrasement photo (III.6), l'ensemble est porté entre les plateaux de la presse pour être soumis à l'essai de compression. ces opérations doivent être réalisées en moins d'une minute.

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

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE



Figure III.5 Le bain thermostatique

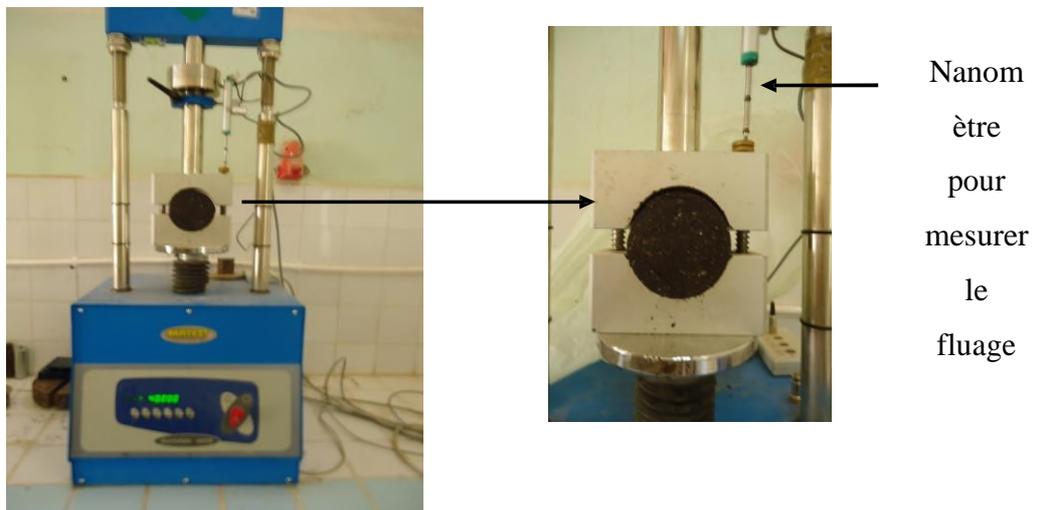


Figure III.6 : L'éprouvette dans les mâchoires

III.3.3 Essai Duriez :

L'essai Duriez ou essai de compression-immersion ayant pour but de caractériser les qualités de résistance à la compression et résistance au dés enrobage par l'eau des matériaux enrobés. Effectivement cet essai permet de déterminer à 18°C pour un compactage donné, la tenue à l'eau d'un mélange hydrocarboné à partir du rapport de résistance à la compression avant et après immersion des éprouvettes. L'essai Duriez est réalisé sur les éprouvettes qui donnent des meilleures stabilités Marshall correspondant des teneurs en bitumes optimales.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

➤ Principe de l'essai:

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

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

➤ Déroulement de l'essai:

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

À jour J + 8, les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression, qu'elles aient été conservées avec ou sans immersion. Pour chaque éprouvette, le délai entre la sortie du dispositif de maintien en température et le début de l'écrasement est inférieur à 2 min. La vitesse du plateau de la presse est réglée à $1\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$. La résistance à la compression simple est déterminée à partir de la charge maximale à la rupture de l'éprouvette d'essai exprimée en Kg. en divisant sur 50 (J.ARRAMBIDE, M.DURIEZ

[21]), on a la résistance à la compression exprimée en Kg/cm^2 qu'on s'appelle stabilité Duriez.

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

- Les éprouvettes immergées

Les éprouvettes non immergées



Figure III.7. : Les éprouvettes dans un bain normalisé de 18°C

➤ Application au projet au niveau du laboratoire:

L'échantillon de grave bitume et béton bitumineux prélevé de la centrale d'enrobage de l'entreprise sus-indiquée et destiné aux vérifications réalisées a été soumis en laboratoire à

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

des essais de performance Marshall les résultats obtenus au terme de ces essais sont regroupés dans les tableaux suivants :

A- GRAVE BITUME 0/20 (15/25-8/15-0/3 CARRIER ENG TERGA)

Performances	Résultats obtenus	Spécifications
Stabilité Marshall (KN)	14.64	Min 10.5 KN
Fluage (1/10 mm)	32.58	Max 40 1/10 mm
Compacité (%)	94	Min 88 % - Max 96%
Densité vraie duriez	2.531	

Tableau III.31 GRAVE BITUME 0/20 (15/25-8/15-0/3 CARRIER ENG TERGA

II-4 béton Bitumineux 0/14 (-8/15-0/3 CARRIER ENG TERGA)

Performances	Résultats obtenus	Spécifications
Stabilité Marshall (KN)	12.41	Min 10.5 KN
Fluage (1/10 mm)	35.55	Max 40 1/10 mm
Compacité (%)	94	Min 92 % - Max 96%
Densité vraie duriez	2.472	

Tableau III.32 GRAVE Bitumineux 0/14 (-8/15-0/3 CARRIER ENG TERGA)

III-4 Carottage :

Le carottage est le prélèvement d'un échantillon du sous-sol terrestre ou marin obtenu à l'aide d'un tube appelé carottier que l'on fait pénétrer dans le sous-sol¹ dans notre cas prélèvement GB 0/20 et BB 0/14. L'échantillon ainsi obtenu s'appelle une carotte (par analogie avec la racine de la plante du même nom, la carotte). Celle-ci est qualifiée d'échantillon stratigraphiquement représentatif, donc non perturbé.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE



Figure III.7. : Carottage GRAVE Bitumineux 0/14

- Application au projet au niveau du laboratoire:

Etudes/projet : entretien de la RN 108

- Carottage pour GB 0/20

N° de carotte	1	2	3	4	5
Epaisseur (cm)	10.50	10	10.2	10.6	10.3
Poids de la carotte paraffinée (gr)	1102.8	1019.40	1041.70	1120.20	1070.20
Poids de la carotte (gr)	1090.40	1008.60	1030.50	1110.10	1060.20
Poids de la paraffine (gr)	12.40	10.80	11.20	10.10	10
Poids de la carotte dans l'eau (gr)	626.01	570.90	585.45	630.65	601.50
Volume brut	476.79	448.50	456.25	489.55	468.7
Volume de la paraffine	13.777	12	12.44	11.22	11.11
Volume net	463.013	436.50	443.81	478.33	457.59
Densité apparente de la carotte	2.355	2.310	2.321	2.32	2.31
Densité réelle de l'enrobé	2.531	2.531	2.531	2.531	2.531
Densité LCPC	0.93	0.91	0.91	0.91	0.91
Compacité %	93	91	91	91	91

Tableau III.33 carottage GRAVE BITUME 0/20

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

➤ Carottage pour BB 0/14.

N° de carotte	1	2	3	4	5
Epaisseur (cm)	8.40	9.00	8.10	8.00	8.5
Poids de la carotte paraffinée (gr)	871.50	923.5	829.00	815.20	887.40
Poids de la carotte (gr)	865.10	915.40	820.50	808.10	880.50
Poids de la paraffine (gr)	6.40	8.10	8.50	7.10	6.90
Poids de la carotte dans l'eau (gr)	496.58	522.80	470.05	458.20	502.30
Volume brut	374.92	400.7	358.95	357	385.1
Volume de la paraffine	7.111	9	9.44	7.88	7.66
Volume net	367.809	391.7	349.51	351.12	377.44
Densité apparente de la carotte	2.352	2.33	2.34	2.3	2.33
Densité réelle de l'enrobé	2.472	2.472	2.472	2.472	2.472
Densité LCPC	0.95	0.94	0.94	0.93	0.94
Compacité %	95	94	94	93	94

Tableau III.34 carottage GRAVE Bitumineux 0/14

Conclusion :

Dans ce chapitre , nous avons développé les différents essais qui contribuent à vérifier l'analyse granulométrique ce qui me donne des résultats satisfaisants et disponibles sur l'utilisation de ces essais, notamment les essais utilisés en Algérie. Les efforts ont été jusqu'à maintenant focalisés sur le développement d'un mode opératoire pour obtenir la formulation.

Dans cette partie, une description succincte du mode opératoire de ces essais a été présentée. Une procédure est adoptée pour obtenir la courbe complète granulaire Puis, les descriptions des sites et des échantillons expérimentaux sont présentés. Enfin, la validation de la nouvelle méthode d'essai est détaillée, utile, praticable, et bénéfique.

IV.1 Introduction :

Après l'étude des essais au niveau de laboratoire cité dans le chapitre précédent cet qui concerne les essais granulaire, bitume et enrobé nous entamons de ce nouveau chapitre la Formulation de la grave bitume et le béton bitumineux et leur courbes après voir vérifier Les performances mécanique (essai duriez, essai Marshall).

IV.2 La composition des enrobes bitumineux

Des travaux de laboratoire, basés sur des essais mécanique très divers (essai Marshall et essai du duriez) ayant tenu compte de plusieurs propriétés des mélanges bitumineux, ont permis de dégager quelque paramètres fondamentaux liés à la composition. (1)

➤ **la granulométrie du mélange :**

❖ **Pour le béton bitumineux 0/14 :**

On distingue trois catégories d'enrobés à chaud pour couche de surface sur chaussées à assises traitées :

- Béton bitumineux semi grenu
- Béton bitumineux a cloutés
- Enrobés d'entretien en couche de mince

❖ **Pour grave bitume 0/20 :**

Destinés aux couches de base dont l'épaisseur minimale de mise en œuvre en tout point est de 10 cm.

IV.3 Formulation de melange bitumineux :

L'étude de formulation a été menée conformément à la méthodologie des recommandations algérienne pour l'utilisation des bitumes et enrobés bitumineux de Février 2004.

La démarche suivie est suivante:

- Choix de la formule granulaire,
- Détermination des teneurs en bitume,
- Composition des mélanges,
- Essais de performances mécaniques.

IV.3.1 Choix de la formule granulaire :

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

IV.3.2 Détermination de la teneur en bitume :

Les teneurs en bitume sur les quelles porte l'étude sont évaluées à partir de la formule suivante:

$$\text{Teneur en bitumen} = K * 5 / \sum \alpha$$

Avec :

\sum : Surface spécifique conventionnelle.

$\sum = 0,25 G + 2,3 S + 12s + 135 f$ en m^2 / kg avec les proportions pondérales suivantes:

G : pourcentage des éléments supérieurs à 6,3 mm,

S : pourcentage des éléments compris entre 6,3 mm et 0,315 mm,

s : pourcentage des éléments compris entre 0,315 mm et 0,080 mm,

f : pourcentage des éléments inférieurs à 0,080 mm.

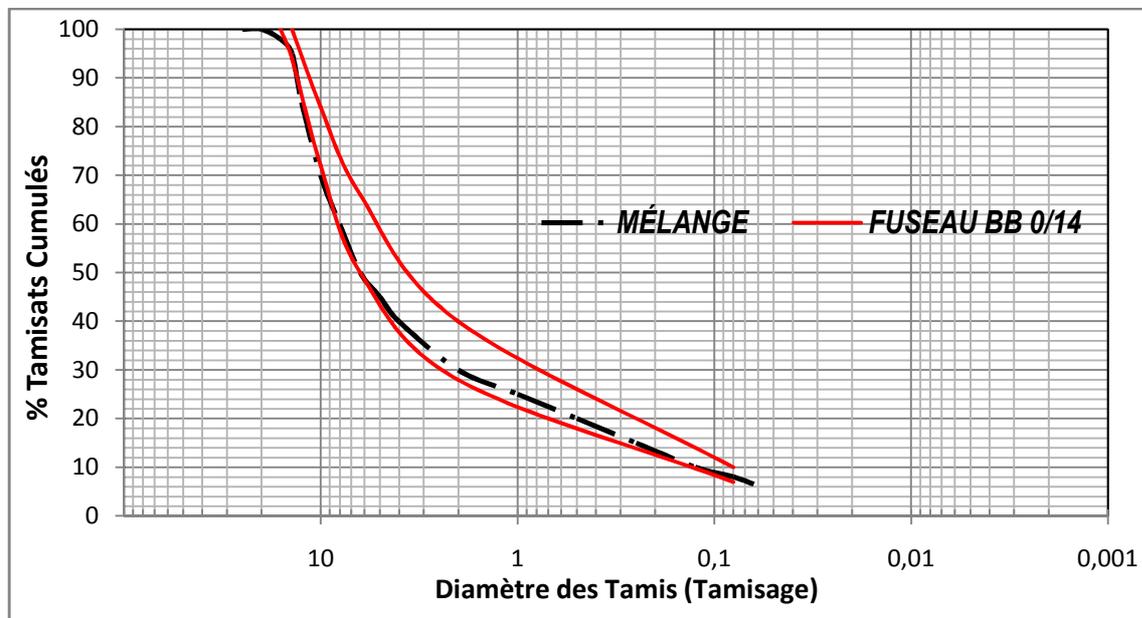
K : module de richesse.

: Coefficient correcteur, destiné à tenir compte de la masse volumique réelle des granulats (MVRg), si elle diffère de $2,65 \text{ g/cm}^3$.

$$\alpha = 2,65 / \text{MVRg}.$$

➤ **Courbe granulométrique du mélange granulaire**

La courbe granulométrique du mélange est donnée dans la figure 1, elle s'inscrit parfaitement dans le fuseau spécifique au béton bitumineux semi grenu 0/14 selon les recommandations algériennes de février 2004.



CHAPITRE IV: RESULTATS ET ANALYSES

La courbe granulométrique du mélange issu de cette formule s'inscrit parfaitement dans le fuseau spécifique au grave bitume GB 0/20 défini dans les recommandations algériennes pour l'utilisation des bitumes et enrobés bitumineux de Février 2004. Voire la courbe granulométrique du mélange (fig 02).

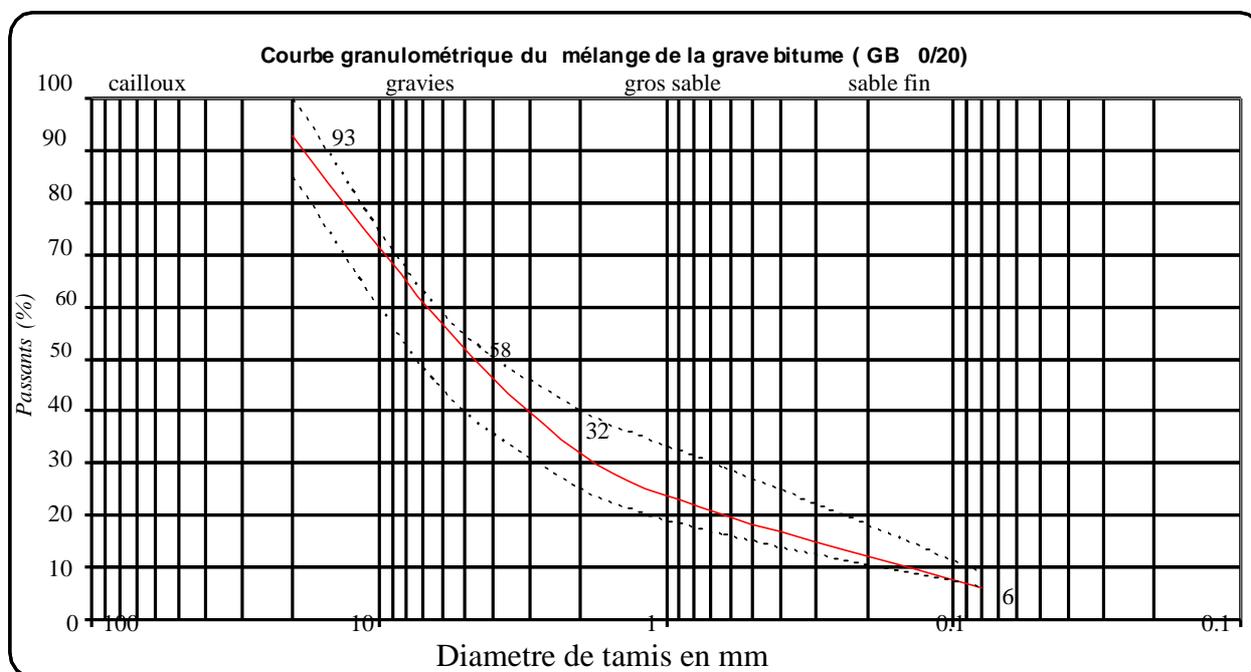


Figure IV.2 : Courbe granulométrique du mélange du grave bitume 0/20

IV.4.2 Détermination des teneurs en bitume :

Les teneurs en bitume sur lesquelles porte l'étude sont évaluées à partir de la formule ci avant formule (1). Les modules de richesse utilisés pour la composition de la grave bitume GB 0/ 20 varient entre 2,45 et 2,75.

Date de prélèvement	Lieu de prélèvement	Teneur en liant (%) formulation	Teneur en liant formulation	Teneur en élts fins (%)	Module de richness	Obs.
Par le client	Centrale d'enrobage	4.11	4.14	8	2.48	GB 0/20

Tableau IV.2 : Teneurs en bitume retenues pour la composition de la Grave bitume

IV.4.3 Essais de performances mécaniques :

La fabrication de l'enrobé au niveau du laboratoire a été réalisée conformément à la norme NFP 98-250-1.

Les résultats des essais MARSHALL réalisés selon le mode opératoire des «recommandations algériennes pour l'utilisation des bitumes et enrobés bitumineux » de Février 2004 sont regroupés dans le tableau IV-2.



Figure IV.3 : Compacteur automatique



Figure IV.4 : Presse MARSHALL

➤ **GRAVE BITUME 0/20 (15/25-8/15-0/3 CARRIER ENG TERGA)**

Performances	Résultats obtenus	Spécifications
Stabilité Marshall (KN)	14.64	Min 10.5 KN
Fluage (1/10 mm)	32.58	Max 40 1/10 mm
Compacité (%)	94	Min 88 % - Max 96%
Densité vraie duriez	2.531	

Tableau IV.3 : Résultats des essais MARSHALL

Commentaires :

Les compacités des éprouvettes sont conformes aux spécifications ainsi les stabilités et les résistances au fluage MARSHALL sont conformes aux spécifications.

Les mélanges hydrocarbonés ont montré une tenue à l'eau satisfaisante.

IV.5 Formulation du béton bitumineux BB 0/14

IV.5.1 Choix de la formule granulaire

La formule granulaire retenue est donnée dans le tableau suivant :

Fraction granulaire	Pourcentage pondérant % (ENG TERGA)
8/15	36
3/8	21
0/3	43

Tableau IV.4 : Formule granulaire retenue

La courbe granulométrique du mélange issue de cette formule s'inscrit parfaitement dans le fuseau spécifique d'un Béton bitumineux BB 0/14 défini dans les recommandations algériennes pour l'utilisation des bitumes et enrobés bitumineux de Février 2004.

La disposition granulaire du squelette minérale est donnée dans la figure suivante.

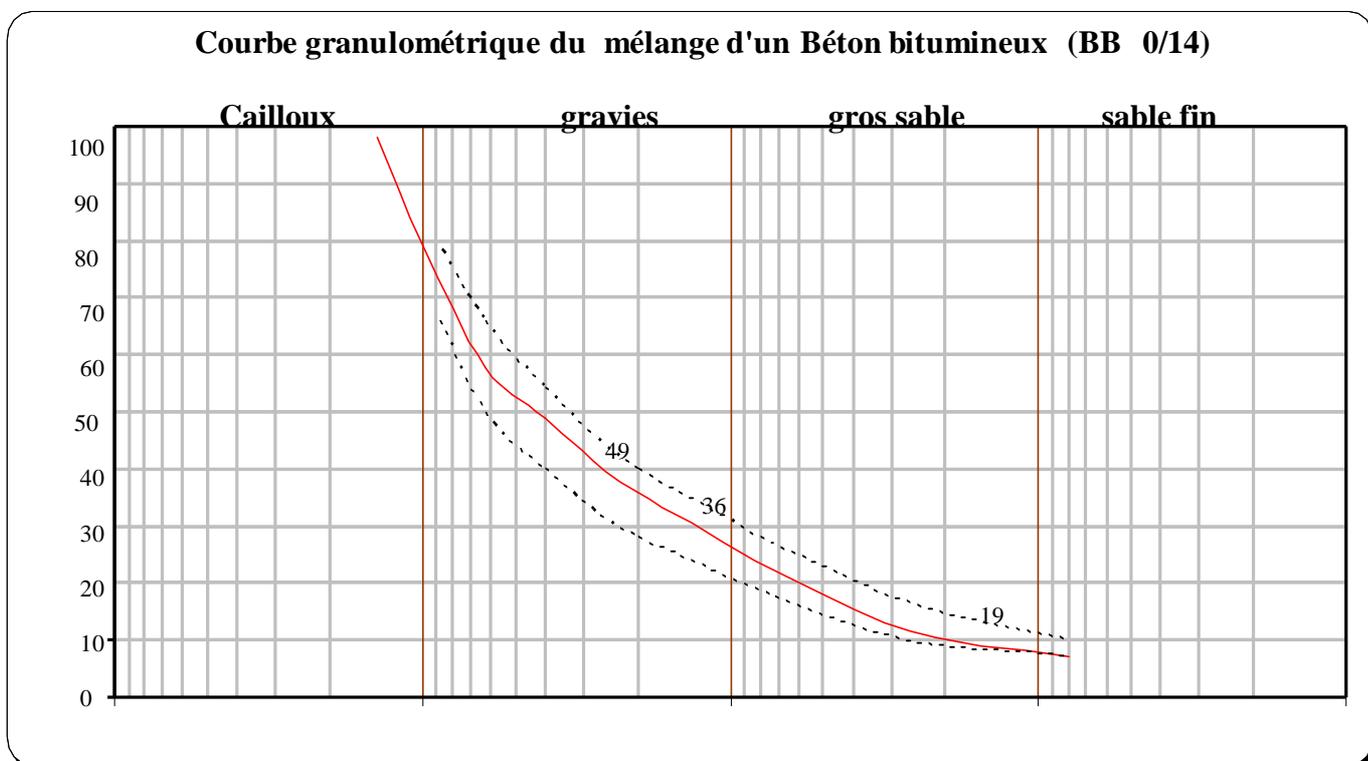


Figure IV.5 : Courbe granulométrique du mélange du Béton bitumineux BB 0/14

IV.5.2 Détermination des teneurs en bitume :

Les teneurs en bitume sur lesquelles porte l'étude sont évaluées à partir de la formule ci avant formule(1). Les modules de richesse utilisés pour la composition du béton bitumineux 0/14 varient entre 3,45 et 3.75

Date de prélèvement	Lieu de prélèvement	Teneur en liant (%) formulation	Teneur en liant formulation	Teneur en élts fins (%)	Module de richness	Obs.
Par le client	Centrale d'enrobage	5.81	5.88	7	3.56	BB 0/14

Tableau IV.5 : Teneurs en bitume retenues pour la composition BB 0/14

IV.5.3 Essais de performance mécanique :

1- ESSAI DURIEZ :

Les résultats des essais DURIEZ sont regroupés dans le tableau suivant :

Formule granulaire	Résultats
Teneur en bitume (%)	5.7
Densité théorique	2.47
Résistance à la compression à sec 18°C (MPa)	7.35
Rapport résistance immersion / à sec	0.86

Tableau IV.6 : Résultats des essais Duriez

2- Essai MARSHALL :

Les résultats des essais MARSHALL sont donnés dans le tableau ci après

Performances	Résultats obtenus	Spécifications
Stabilité Marshall (KN)	12.41	Min 10.5 KN
Fluage (1/10 mm)	35.55	Max 40 1/10 mm
Compacité (%)	94	Min 92 % - Max 96%
Densité vraie duriez	2.472	

Tableau IV.7 : Résultats des essais Marshall

Commentaires :

Suite aux résultats obtenus, Les stabilités et les résistances au fluage MARSHALL sont conformes aux spécifications.

Les mélanges hydrocarbonés ont montré une tenue à l'eau satisfaisante.

IV.6 Conclusion et recommandations :

A la lumière des résultats de laboratoire, nous pouvons tirer les conclusions et donner les recommandations suivantes :

L'analyse au laboratoire des agrégats de la Carrière ENG TERGA a montré une qualité acceptable du point de vue caractéristiques intrinsèques et de fabrication pour une utilisation dans la confection de la grave bitume GB 0/20 et du béton bitumineux BB 0/14

Les essais de performances mécaniques réalisés sur la Grave bitume 0/20 et le Béton bitumineux 0/14 ont révélé de bonnes stabilités et résistances au fluage. Ainsi une tenue à l'eau satisfaisante aux exigences.

Pour ce la, nous recommandons pour les travaux, les formules suivantes :

➤ **Formulation de la Grave Bitume GB 0/20**

Fraction granulaire	Pourcentage pondérant % (ENG TERGA)
15/25	22
8/15	21
3/8	14
0/3	43
BITUME 40/50	4.14

Tableau IV.8: Résultats Formulation GB 0/20

➤ **Formulation du Béton Bitumineux BB 0/14**

Fraction granulaire	Pourcentage pondérant % (ENG TERGA)
8/15	36
3/8	21
0/3	43
BITUME 40/50	5.88

Tableau IV.9: Résultats Formulation BB 0/14

Commentaire :

Enfin nous signalons que les formules vérifiées et sont valides selon les normes acceptables.

IV.7 CONCLUSION :

Selon les résultats obtenus, il apparaît que les formulations testées présentes des performances conduante en matière de stabilité, fluage, compacité sont acceptable.

En conséquence l'entreprise peut entamer les travaux programmés au moyen de la formulation de grave bitume et béton bitumineux présentée, élaborée au moyen de granulats 15/25 -8/15-3/8- et sable 0/3

Provenant de la carrière ENG TERGA et d'un bitume de classe 40/50.

- Une attention particulière devra être portée aux fabrications, le transport et la mise en œuvre des enrobés afin de leur conférer des performances comparables celles obtenues en laboratoire.
- Il est par ailleurs conseillé d'éviter les arrêts fréquente de finisseur pour réduire le nombre de joints transversaux, et et bien niveler les couches mises en œuvre pour leur procurer un bon uni.
- Nous signalons enfin que les formule vérifiées perdent validité en cas de changement de nature ,d'origine ou de caractéristique des différents constituants (granulats, liant)

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

V.1 Introduction :

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

- De déterminer les caractéristiques adéquates des constituants en fonction des trafic et du climat considérés. (5)
- De définir les teneurs des différents constituants qui permettent l'obtention des mélanges bitumineux les plus performants, selon leur utilisation dans la structure de chaussée (couche de base ou couche de roulement) en tenant compte de paramètres trafic et climat (5).

V.2 Le trafic :

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

Il est déterminé sur la base du trafic poids lourds par sens, compté en moyenne journalière annuelle, pour la voie plus chargée, à partir de l'année de mise en service (5).

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

a) 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

b) 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).

V.3 Le climat

Le guide du CTTP (Février 2004) : Recommandations sur l'utilisation des bitumes et des enrobés en béton bitumineux à chaud découpe géographiquement l'Algérie en trois zones :

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

V.4 Les travaux préparatoires de l'assise de chaussée

Avant de procéder aux travaux de répandage 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:

- Dans le cas d'une chaussée neuve l'ensemble des couches de fondation et de base (fig1).
- Dans le cas d'un renforcement : l'ensemble des couches existantes + une éventuelle couche de renforcement en grave – bitume (couche de base).

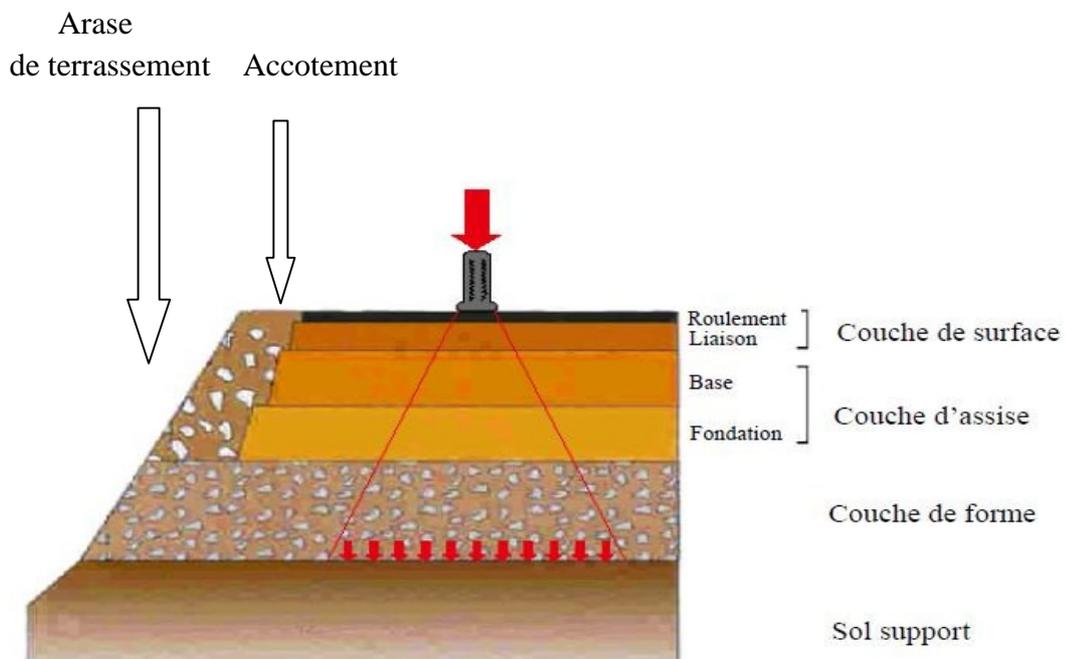


Figure V.1: la coupe type d'une chaussée routière.

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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 rappeler que la couche de roulement peut se dégrader suit à la dégradation de son assise, Ainsi on ne saurait trop insister sur la bonne exécution des travaux préparatoires de l'assise qui contribue fortement à la réussite de la mise en œuvre des enrobés bitumineux en couche de roulement et , par il est développé, ci – après , les recommandations requises au titre de cette phase (1) qui concerne les travaux préparatoires de l'assise de chassée . les principales à mener sont les suivantes :

- a) La protection de la chaussée contre l'eau ;
- b) Le réglage en nivellement de l'assise ;
- c) Le profilage (éventuel) de l'assise ;
- d) La mise en état de propreté et d'humidité de la surface de l'assise ;
- e) 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.

V.4.1 Les 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 le corps de chaussée est nuisible, elle diminue sa portance afin de l'évacuer, il est impérative, préalablement, les mesures suivantes :

- Le « non – encaissement de la chaussée (profil en long adéquat) ;
- Le bon nivellement des accotements.(ils ne doivent être déformés en surface ni surélevés par rapport à la chaussée).

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

- La présence en nombre et 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.

V.4.2 Le réglage en nivellement de l'assise:

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

Le nivellement automatique par rapport à des repères indépendants de la chaussée est généralement recommandé pour la réalisation des couches d'assises de chantiers importants (durée de fabrication 100 heures ou taille 100.000 m). Le nivellement par rapport à des ouvrages liés à la chaussée est réservé, quant à lui, aux rectifications des profils en travers, l'axe ou le rebord de la chaussée existante) et à des zones urbaines ou singulières. Le contrôle du nivellement peut être manuel (par levés topographiques 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 générale 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 piquetage général si la couche de matériaux est exécutée par référence:

- 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 en œuvre, par peinture au sol, est réalisé.

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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

Etre intérieure ou égale à 10 mètres .en l'absence de référence fixe continue , un piquetage de rive est réalisé , pour indiquer l'épaisseur à mettre en œuvre.

V.4.3 Le reprofilage de l'assise :

Dans le cas ou des déformations (flaches, omières , déformations de rine , etc).

Importantes favorisent la stagnation de l'eau, l' entrepreneur effectuera un reprofilage permet de redonner à la chaussée:

- Un profil en travers correct ; pour que l'eau puisse s'évacuer normalement de la chaussée
- Un profil en long régulier ; afin d'assurer, à l'utilisateur ,une bonne sécurité et un bon confort pour une bonne exécution du reprofilage ,recommande ce qui suit :
 - Il est effectué soit par application de matériaux (traités ou non) soit par fraisage ou rabotage ou thermo reprofilage (ce dernier consiste en une remise au profil d'une chaussée bitumineuses par chauffage , fractionnement ,mise en forme et recompactage sans enlèvement de matériaux ni apport d'enrobés neufs).
 - Le reprofilage par application de matériaux peut être effectué par des moyens manuels ou mécaniques (niveleuse , finisseur) .a noter que pour une couche de reprofilage en enrobés , sur une chaussée déformée , la niveleuse est préférable .
 - Les applications manuelles, peu consommatrices de matériaux, conviennent à des réfections ponctuelles et limitées .les moyens mécaniques sont mieux adaptés aux réfections importantes ou de grande longueur (quantité de matériaux d'apport supérieur à10 tonnes/100 mètres , rectification de dévers , 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 couches définitive . le compactages fait en commençant par la partie ou l'épaisseur est la plus faible.

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

V.4.4 La mise en état de propreté de bitume de la surface de l'assise

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

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

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

V.4.5 La Réalisation des couches d'interfaces :

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

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

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

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

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

V.4.6 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.

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

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

Condition de en œuvre	Liants
Sur matériaux à texture ouverte	Bitume fluidifié (cut – bak) 0/1 (ou) 10/15 chauffée vers 60°à70°) 0.7à 1.2kg/m
Sur matériaux argileux à texture fermée	Bitume chauffée (cut – back) 0/1 0.7à 1kg/m
Quels que soient la texture et le climat (même humide)	Emulsion surstabilisée a 65% de bitume résidée à 2.5 kg/m

Tableau V-1: les liants utilisés en couche d'imprégnation et les dosages préconisé

- L'émulsion sur stabilisée est une est une émulsion dont la vitesse de rupture est particulièrement lente ou susceptible d'être retradée par un agent physique ou chimique, de ce fait , elle mérite bien le non d'émulsion pour imprégnation .elle contient habituellement 65 % de bitume pur. Sa viscosité faiblie (2 à 4° Engler) et sa vitesse de rupture lente facilitent sa pénétration dans le grave. Lorsque le support est constitué d'une grave non traitée courante, le traitement s'effectue à des dosages *variant* de 2 à 2.5 kg/m².⁽⁵⁾

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

- 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.⁽⁵⁾

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).⁽⁵⁾

- Au moment de l'imprégnation, il faut que la chaussée soit sèche. Toutefois, une légère humidité rémanente dans les canaux favorise l'imprégnation.⁽⁵⁾
- Il y a lieu, aussi, de permettre l'évaporation du solvant pétrolier avant la mise en place du béton bitumineux.⁽⁵⁾
- 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.⁽⁵⁾

V.4.7 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. Les recommandations liées à la couche de cure sont les suivantes⁽³⁾

> 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),⁽³⁾
- 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).⁽³⁾

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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

Tableau V-2: dosage pour couche de protection

- Le support de la couche de protection doit être propre. Ceci peut nécessiter un prudent, mais efficace, balayage des couches en graves et un cloutage des couches en sables traités (10 litres/m² de gros gravillons, 14/20 par exemple, légèrement compactés).⁽³⁾
- 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.⁽³⁾

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.⁽³⁾

V.4.8 La couche d'accrochage des matériaux bitumineux :

Avant le répandage d'un béton bitumineux sur une grave-bitume, d'une grave-bitume sur une autre ou d'une couche de renforcement sur une ancienne chaussée en enrobé, il est préconisé de mettre en place une couche d'accrochage à l'émulsion cationique. Les recommandations liées à la couche d'accrochage sont les suivantes :⁽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 répandeuse dont le fonctionnement optimum nécessite l'emploi d'émulsion diluée (50% d'émulsion et 50 % d'eau) pour que le débit soit

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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.

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)

Tableau V-3: Dosage pour couche d'accrochage

Pour une bonne réalisation de la couche d'accrochage, il faudra ;

- 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,⁽⁵⁾
- 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).⁽⁵⁾
- 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).⁽⁵⁾
- 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,⁽⁵⁾
- Planifier les travaux de manière à appliquer la quantité du liant nécessaire au taux d'une journée.⁽⁵⁾
- Eviter de sabler la couche d'accrochage, sinon elle perdrait de son utilité.⁽⁵⁾

V.5 Le repandage des enrobés bitumineux a chaud:

Le repandage 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 a trois objectifs essentiels :

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

- 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 de repandage des enrobés bitumineux à chaud, quatre points importants sont à développer :

- a. Le matériel adéquat au repandage ;
- b. Les réglages des matériels (finisseur) et la vérification de la température ;
- c. Le choix du mode de guidage ;
- d. L'étude du plan de repandage.

➤ **Le matériel de repandage :**

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

➤ **La niveleuse :**

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

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

➤ **Le finisseur :**

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

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

- 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).

V.5.1 Le plant de repandage :

➤ L'établissement du plan repandage

Le plan de repandage définit les conditions de réalisation du repandage 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.

CHAPITRE V : LA 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. Le repandage de la nouvelle bande est conduit de façon à recouvrir sur 1 ou 2cm le bord longitudinal de la bande adjacente, les enrobés en excès recouvrant la bande ancienne sont ensuite soigneusement éliminés.

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

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

V.6 Les actions à mener au titre des paramètres influençant le repandage :

Les paramètres influençant le repandage concernent les réglages initiaux du finisseur, la température de repandage ainsi que le mode de guidage.

V.6.1 les réglages initiaux du finisseur :

Les réglages à effectuer sur le finisseur sont :

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

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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

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

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

Tableau V-4: Les effets des réglages du finisseur.

La température de répandage :

La température de répandage est donnée en fonction de la classe de bitume comme suit (Voire tableau.....).

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

Tableau V-5: La température de répandage

V.6.2 Le choix du mode de guidage :

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

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

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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

V.6.3 Couches de roulement d'épaisseur inférieure à 8cm :

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

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

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

V.6.4 Couches de roulement épaisseur [8 à 10cm] :

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

V.6.5 Couches de base :

Elles sont exécutées :

- Soit par guidage à **référence fixe** (fil ou laser). La qualité de la référence est dans ce cas primordiale (précision d'implantation des supports, tension des fils),
- Soit par guidage à « référence mobile » si l'uni du support dans le domaine des grandes longueurs d'onde est bon,
- Soit par guidage à « vis calée » ou en « guidage court » si l'uni du support, dans le domaine des moyennes et grandes longueurs d'onde est bon.
- **Remarque :** l'épaisseur minimale de mise en œuvre des graves bitumes 0/20 doit être en tout point de 5.5 cm.

V.7 Le pré-compactage des enrobés bitumineux :

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

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].

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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

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

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

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

V.8 Le compactage des enrobés 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.

- 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 :

- a) Le matériel de compactage et ses caractéristiques ;
- b) Le domaine d'utilisation des compacteurs ;

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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

V.9 Le matériel de compactage :

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

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

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

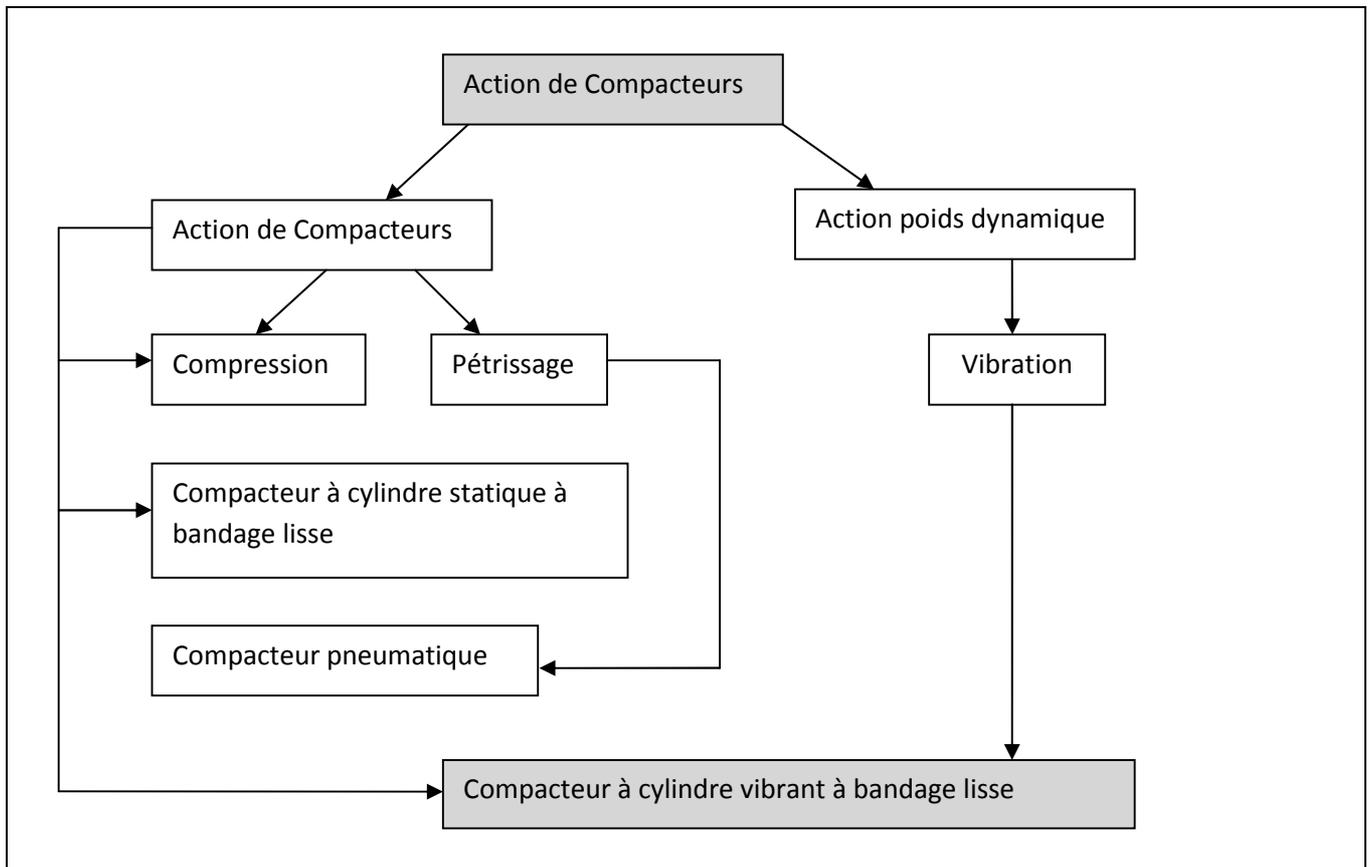


Figure V.2: Les actions de compacteurs

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE

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

Pour les zones difficilement accessibles ou de dimensions limitées, le compactage peut être réalisé à l'aide de dames, billonneuse, plaque vibrantes ou petits rouleaux de largeur adaptée.

Les trois principaux types de compacteur sont présentés sur la figure ci-après :



Figure V.3: compacteur pneumatique



Figure V.4: compacteur à cylindre lisse

CHAPITRE V : LA MISE EN ŒUVRE



Figure V.5: Chargeur



Figure V .6 : Finisseur enrobé



Figure V .7 : camion enrobé

CONCLUSION GENERALE

Ce travail consiste à l'étude bibliographique sur couche de revêtement d'une route nationale en béton bitumineux .il axait sur les méthodes de production d'enrobée et étapes a suivre pour la formulation du béton bitumineux au niveau du laboratoire et l'utilisation de ce dernier sur une route nationale à trafic étudié .le travail est regroupé par les chapitres suivants :

- généralité sur les chaussées pour bien connaitre les définitions des chaussées et leur dégradation des couches de revêtement .
- Généralité sur bitumes et les matériaux concernant enrobée bitumineux
- Une étude de laboratoire qui explique tous les essais sur principe matériaux, granulats, bitumes et l' enrobée .
- Analyse et résultats pour obtenir la bonne formulation de béton bitumineux bb0/14 et grave bitume 0/20.
- La mise en œuvre du béton bitumineux sur une route nationale .

De ce fait le résultat est une vision claire sur l'actualité des travaux des recherches et pratiqués sur la couche de revêtement d'une route nationale en béton bitumineux et sur la science de matériaux "réseau routier "

En conclusion , j'espère acquérir de nouvelle connaissances et méthodes pour contribuer modestement par ce travail pour qu'il puisse être utilisé comme base de recherche .

BIBLIOGRAPHIQUE :

- (1) .[LCPC, 1994] LCPC. *Conception et dimensionnement des structures de chaussées*. Guide Technique, LCPC-SETRA, 1994.
- (2) .[Cole et al., 1998] Cole L.W., Mack J.W. et Packard R.G. Whitetopping and ultra-thin whitetopping.
- (3) - the us experience. *8th International Symposium on Concrete Road*. 1998, pp. 203–217.
- (4) Les enrobe bitumineux
- (5) Matériaux des construction
- (6) www.nynas.com
- (7) Le guide du CTTP (Février 2004) : Recommandations sur l'utilisation des bitumes et des enrobés en béton bitumineux à chaud
- (8) Recommandation sur l'utilisation
- (9) Cours route master 2 travaux publics
- (10) Cours les enrobés bitumineux
- (11) www.lcpc.com