

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



Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences et Technologies
Département hydraulique et Génie Civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine: *Sciences ET Technologies*

Filière : *Génie Civil*

Spécialité : *Structure*

Présenté Par : Zahi Mohammed Houssam Eddine

Thème

**Etude de l'influence de mode de compactage sur la
Sensibilité à l'eau des enrobés bitumineux
Cas de Béton bitumineux semi grenu**

Soutenu publiquement le : 27/10/2020

Devant le jury :

DAHEUR El Hadj Guesmia	MCB	Univ. Ghardaïa	Président
AMIEUR Abdenacer	DT	LTPS Ghardaïa	Examineur
ZERZOUR Ali	Professeur	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2019/2020



Remerciements

Nous tenons à remercier

Dieu

Le tout puissant de nous avoir donné puissance et connaissance

Pour réaliser ce travail.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à toute l'équipe de LTP SUD

Pour le bon accueil qu'ils nous ont réservé tout au long du stage

Et de manière très particulière ; nous exprimons nos chaleureux

Remerciements et notre profond respect à

Dr.Mohamed Boucherba

Bellmokhtare maatallah

Chikh Djekawa

Qui nous a aidé tout au long de ce stage.

Nous remercions également l'honorable professeur

Professeur : Ali Zerzour.

*Et nos remerciements reviennent aussi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin
pour la concrétisation de ce travail.*





Dédicace

Je dédie ce mémoire A mes chers parents ;

Ma mère et mon père pour leur patience, leur amour

Leur soutien et leurs encouragements.

A mes très chères sœurs.

*A mes Mes professeurs de l'Université de Ghardaïa, **Professeur Zerzour Ali,***

Dr.Daher Ghassmia, Dr.Aziez Nadjib

Dr.Mohamed Boucherba

À tous ceux qui m'ont aidé au LTPS : Selamatt Lamine,

Bekouch brahim, Bediaf Chikh ,

Ben seddik Mohamed Lamine ,

Bengaid Abdennour, Mahboub Khalil

À mes chers amis

A mes amis et mes est collègues

Sans oublier tous les enseignants qui ont

*Contribué à mon **CURSUS DE FORMATION UNIVERSITAIRE.***



Zahi Mohammed Houssam Eddine



ملخص: نظرًا للتطور العلمي الحالي للأساليب التقنية المستخدمة في أقسام الدراسة والرقابة والجودة ، فإن تحديث المعايير ضروري في شركات الإنتاج لدينا.

ولهذه الغاية ، تتطلب المختبرات مثل LTPS ، التي تهدف إلى مراقبة معايير الاختبار في هذا العمل الفني ، تحديثًا رئيسيًا في إجراء الاختبارات على خلائط الأسفلت مع "حساسية الماء للخلائط البيتومينية".

هذا التحديث من هذه العروض القياسية العديد من الخيارات في طريقة إعداد والمختبر في حاجة لمعالجة الشواغل التي أعربت عنها على الأسئلة التالية: "ما هي أفضل طريقة" و "ما الفرق بين هذه الأساليب؟

وللإجابة على هذه الأسئلة لتحقيق أهدافنا المحددة ، أجرينا العديد من الدراسات المقارنة بين طريقتين مختارتين لإعداد الضغط الساكن وضغط التأثير.

يتطلب هذا العمل تطويرًا مقدمًا في أربعة فصول تحقق أهدافنا بنتائج قاطعة.

Résumé : Compte tenu de l'actuel développement scientifique des méthodes techniques utilisé dans les rubriques étude, contrôle et qualité, la mise à jour des normes est nécessaire dans nos entreprises de réalisation.

A cet effet, les laboratoires tels que le LTPS qui est destiné au suivi des normes des essais dans ce travail technique nécessite une grande mise à jour dans la réalisation des essais sur les Enrobés à caractère « Sensibilité à l'eau des mélanges bitumineux ».

Cette mise à jour de cette norme offre plusieurs choix dans la méthode de préparation et le laboratoire est en besoin de répondre aux préoccupations traduites par les questions suivantes : « quel est la meilleure méthode ? et « c'est quoi la différence entre ces méthodes ? »

Et pour répondre à ces questions pour atteindre nos objectifs fixés, on a procédé à plusieurs études comparatives entre les deux méthodes choisies de préparation de compactage statique et de compactage impact.

Ce travail nécessite un développement présenté par quatre chapitres qui répondent à nos objectifs par des résultats concluants.

Abstract: Given the current scientific development of technical methods used in the study, control and quality sections, updating of standards is necessary in our production companies. To this end, laboratories such as the LTPS, which is intended to monitor test standards in this technical work, require a major update in carrying out tests on Asphalt mixes with a "Water sensitivity of bituminous mixtures". This update of this standard offers several choices in the method of preparation and the laboratory is in need to address the concerns expressed by the following questions: "what is the best method?" and "what's the difference between these methods?" And to answer these questions to achieve our set goals, we conducted several comparative studies between the two chosen methods of preparation of static compaction and impact compaction.

This work requires a development presented by four chapters, which meet our objectives with conclusive results .Reinforcement, geosynthetics.

Table des Matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES ENROBES BITUMINEUX ET ETUDE DE FORMULATION	
I.1. INTRODUCTION.....	5
I.2. GENERALITES SUR LES ROUTES.....	5
I.2.1. Définitions	5
I.2.2. Les Composants D'une Route	5
I.3. Constitution Et Rôle D'une Chaussée : Les Différentes Couches.....	6
I.4. Les Différentes Structures De Chaussées	8
I.4.1. Les Chaussées Souples	8
I.4.2. Les Chaussées Bitumineuses Epaissees.....	10
I.4.3. Les chaussées semi-rigides (ou à assise traitée aux liants hydrauliques) .	11
I.4.4. Les chaussées rigides (ou en béton de ciment).....	12
I.4.5. Les chaussées à structure mixte.....	13
I.4.6. Les chaussées à structures inverse.....	14
I.4.7. les chaussées à structures composite.....	15
I.5. Dimensionnement des chaussées	17
I.5.1. La démarche	17
I.5.2. Modélisation	18
I.5.3. Vérification de la structure	18
I.5.4. Méthode pratique de dimensionnement	18
I.6 DEFINITION DE L'ENROBE BITUMINEUX.....	18
I.6.1 COMPOSITION DES ENROBES BITUMINEUX.....	18
I.6.2. Granulats.....	20
I.6.3. Rôles des granulats dans l'enrobe.....	20
I.6.4. Classification des granulats.....	20
I.7.CLASSIFICATION DES ENROBES BITUMINEUX.....	21
I.7.1. Béton bitumineux (BB).....	22
I.7.2. Grave-Bitume (GB).....	22
I.7.3. Sable bitume (SB).....	23
I.7.4. Bétons bitumineux à module élevé (BBME).....	23
I.7.5. Enrobe à module élevé (EME).....	23
I.8 ETUDE DE FORMULATION.....	24

I.9 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX.....	24
I.10. DETERMINATION DU MELANGE MINERAL.....	25
I.11. TENEUR EN LIANT OPTIMALE BITUMINEUX.....	27
I.12. ESSAI SUR GACHET AU LABORATOIRE.....	27
I.13. CONCLUSION.....	28

CHAPITRE II : METHODE DE MESURE DES PERFORMANCES DES ENROBES BITUMINEUX

II.1 INTRODUCTION.....	30
II.2 ÉTUDE DE FORMULATION.....	30
II.2.1. Composition granulaire.....	30
II.3 ESSAIS SUR LES ENROBES BITUMINEUX.....	33
II.3.1. Niveau 1.....	34
II.3.1.1. Essai la presse à cisaillement giratoire (PCG).....	35
II.3.1.2. Principe d'essai PCG.....	36
II.3.1.3. Réalisation d'essai PCG.....	37
II.3.1.4. Type des compacteurs giratoires.....	38
II.3.1.5. Expression des résultats de PCG.....	40
II.3.1.6. Essai tenue à l'eau (Essai Duriez).....	41
II.3.1.7. Principe d'essai Duriez.....	42
II.3.1.8. Appareillage.....	42
II.3.1.9. Réalisation d'essai Duriez.....	43
II.3.1.10. Expression des résultats tenue à l'eau.....	45
II.3.2. Niveau 2.....	45
II.3.2.1. Essai d'orniérage.....	45
II.3.2.2. Principe d'essai orniérage.....	46
II.3.2.3. Types d'ornières.....	47
II.3.2.4. Type des ornières.....	48
II.3.2.5. Réalisation d'essai d'orniérage.....	48
II.3.2.6. Expression des résultats d'orniérage.....	50
II.3.3. Niveau 3.....	50
II.3.3.1. Définition du module complexe.....	51
II.3.3.2. Essai de flexion en deux points sur des éprouvettes trapézoïdales...	53
II.3.3.3. Réalisation d'essai deux points.....	54
II.3.3.4. Expression des résultats d'essai module.....	56
II.3.4. Niveau 4.....	57
II.3.4.1. Essai de fatigue.....	57
II.3.4.2. Types d'essai de fatigue.....	59
II.3.4.2.1. Essai de flexion 2 points.....	59

II.3.4.2.2. Essai de flexion 4 points.....	59
II.3.4.3. Réalisation d'essai fatigue.....	60
II.3.4.4. Expression des résultats d'essai fatigue.....	61
II.4. Conclusion.....	61

CHAPITRE III : CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

III.1 INTRODUCTION.....	63
III.2 CARACTERISTIQUES DE MATERIAUX.....	63
III.2.1. Gravier.....	63
III.2.2. Sable.....	67
III.2.3. Liant hydrocarboné.....	68
III.3 Conclusion.....	69

CHAPITRE IV : RESULTATS ET COMMENTAIRES

IV.1 INTRODUCTION.....	71
IV.2 ETUDE DE FORMULATION.....	71
IV.2.1 Composition granulaire.....	71
IV.3. Dispositif expérimental.....	73
IV.4. Résultats.....	76
IV.4.1. Méthode statique.....	76
IV.4.2.Méthode impact.....	78
IV.4.3.Comparaison des méthodes.....	80
IV.5 CONCLUSION.....	82
V. CONCLUSION GENERALE.....	84

LISTE DES REFERENCES

ANNEXES

Liste des figures

<i>Figures</i>	<i>Page</i>
<i>Figure I-1 : profil en travers</i>	5
<i>Figure I-2 : Coupe type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches</i>	6
<i>Figure I-3 : Les constituants d'une chaussée souple</i>	8
<i>Figure I-4 : schématisation du fonctionnement des chaussées souples</i>	9
<i>Figure I-5 : les différentes causes d'orniérage des chaussées souples</i>	10
<i>Figure I-6 : Chaussées bitumineuses épaisses [LCPC, 1994]</i>	10
<i>Figure I-7 : Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques [LCPC, 1994]</i>	11
<i>Figure I-8 : schématisation du fonctionnement des chaussées semi-rigides</i>	11
<i>Figure I-9 : Dalles non goujonnées avec fondation</i>	12
<i>Figure I-10 : Dalles goujonnées avec fondation</i>	12
<i>Figure I-11 : Dalles sans fondation</i>	13
<i>Figure I-12 : Béton armé continu 1</i>	13
<i>Figure I-13 : Béton armé continu 2</i>	13
<i>Figure I-14 : Chaussées à structure mixte [LCPC, 1994]</i>	14
<i>Figure I-15 : Chaussées à structure inverse [LCPC, 1994]</i>	14
<i>Figure I-16 : Béton de ciment mince collé (BCMC)</i>	15
<i>Figure I-17 : Béton armé continu sur Grave bitume (BAC/GB)</i>	15
<i>Figure I-18 : influence du collage sur le diagramme des contraintes (a) interface non collée (b) interface collée</i>	16
<i>Figure I-19 : Classification des enrobes bitumineux</i>	22
<i>Figure I-20 : Un exemple d'un courbe de mélange inscrite le fuseau de référence</i>	26
<i>Figure I-21 : Epreuve de formulation (Essai approche empirique et fondamentale)</i>	28
<i>Figure II-1 : Un mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite</i>	31
<i>Figure II-2 : La courbe granulométrique échantillon de mélange minéral reconstitué au laboratoire</i>	32
<i>Figure II-3 : Niveaux de l'épreuve de formulation</i>	34
<i>Figure II-5 : Principe de Cisaillement Giratoire</i>	36
<i>Figure II-6 : Mécanisme La Presse à Cisaillement Giratoire de Vicksburg</i>	39
<i>Figure II-7 : Mécanisme à l'appareil français des Ponts et Chaussées</i>	40
<i>Figure II-8 : Présentation des résultats d'essai PCG</i>	41
<i>Figure II-9 : Principe d'essai La tenue à l'eau</i>	42
<i>Figure II-10 : Principe de l'essai d'orniérage</i>	46

Figure II-11 : Lustration des différents types d'orniérage	47
Figure II-12 : Profondeur d'ornière proportionnelle / nombre de cycles	50
Figure II-13 : Récapitulatif des principaux essais de module complexe existant sur enrobés	53
Figure II-14 : Les étapes de l'acquisition trapézoïdale	55
Figure II-15 : Isothermes du module complexe	56
Figure II-16 : Isochrones du module complexe	57
Figure II-17 : Définition du critère classique de fatigue et détermination de la durée de vie N_f	58
Figure II-18 : Signal de déplacement symétrique imposé à la petite base de l'éprouvette	60
Figure II-19 : Courbe de Wöhler	61
Figure III-1 : Le courbe granulométrique des graviers	63
Figure III-2 : Le courbe granulométrique de sable	67
Figure III-3 : Principe d'essai d'équivalent de sable	68
Figure IV-1 : Disposition des courbes granulométriques des constituants par rapport la courbe médiane de fuseau	71
Figure IV-2 : La composition proposés	72
Figure IV-3 : Courbe de mélange	73
Figure IV-4 : Diagramme Les résultats de la méthode statique pour chaque lot	77
Figure IV-5 : Diagramme Les résultats de la méthode impact	79
Figure IV-6 : Diagramme Les résultats de Comparaison Les Méthode	80
Figure IV-7 : Diagramme Les valeurs de sensibilité à l'eau mesurés de chaque méthode	81

Liste des Photos

<i>Photo</i>	<i>Page</i>
<i>Photo II-1 : Machine La Presse Cisaillement à Giratoire</i>	<i>35</i>
<i>Photo II-2 : Malaxage des granulats avec un bitume pur</i>	<i>37</i>
<i>Photo II-3 : Moules et pistons</i>	<i>42</i>
<i>Photo II-4 : Machine de compression</i>	<i>43</i>
<i>Photo II-5 : Compactage des éprouvettes</i>	<i>44</i>
<i>Photo II-6 : Conservation des échantillon</i>	<i>44</i>
<i>Photo II-7 : Compression les éprouvettes</i>	<i>44</i>
<i>Photo II-8 : Machine de l'essai d'orniérage</i>	<i>46</i>
<i>Photo II-9 : Préparation de plaque sur la table de compactage</i>	<i>48</i>
<i>Photo II-10 : Ajuster la plaque et l'appareil d'expérimentation l'orniérage</i>	<i>49</i>
<i>Photo II-11 : Échantillon après procédure de l'essai d'orniérage</i>	<i>50</i>
<i>Photo II-12 : Machine de flexion deux points</i>	<i>51</i>
<i>Photo II-13 : Vérification de l'encastrement</i>	<i>54</i>
<i>Photo II-14 : Compactage des plaques</i>	<i>55</i>
<i>Photo II-15 : Essai de flexion 2 points sur éprouvette trapézoïdale</i>	<i>59</i>
<i>Photo II-16 : Appareil d'essai de flexion 4 points</i>	<i>60</i>
<i>Photo III-1 : Photo reprise « Analyse granulométrie »</i>	<i>64</i>
<i>Photo III-2 : Photo reprise « Micro-Deval »</i>	<i>65</i>
<i>Photo III-3 : Photo reprise « Los Angeles »</i>	<i>66</i>
<i>Photo IV-1 : Photo reprise d'la chambre climatique</i>	<i>73</i>
<i>Photo IV-2 : Photo reprise d'la bain d'eau</i>	<i>74</i>
<i>Photo IV-3 : Photo reprise « Presse Statique 250 kN »</i>	<i>74</i>
<i>Photo IV-4 : Photo reprise « Dame Marshal »</i>	<i>75</i>
<i>Photo IV-5 : Écrasement Les éprouvettes de la méthode statique</i>	<i>77</i>
<i>Photo IV-6 : Écrasement Les éprouvettes de la méthode impact</i>	<i>79</i>

Liste Des Tableaux

Tableaux	Page
<i>Tableau I-1 : Valeur de fuseau d'un BBME 0/14</i>	26
<i>Tableau II-1 : Exemple des Spécifications relatives au pourcentage de vides</i>	41
<i>Tableau III-1 : Résultat d'essai masses volumiques absolues de graviers</i>	64
<i>Tableau III-2 : Résultat d'essai Micro-Deval</i>	65
<i>Tableau III-3 : Résultat d'essai Los Angeles</i>	65
<i>Tableau III-4 : Résultats d'aplatissement des graviers</i>	66
<i>Tableau III-5 : Résultats de propreté des graviers</i>	66
<i>Tableau III-6 : Résultat d'essai masses volumiques absolues de sable 0/3</i>	67
<i>Tableau III-7 : Résultats d'équivalent de sable</i>	68
<i>Tableau III-8 : Caractérisations du liant</i>	68
<i>Tableau IV-1 : Résultat de Méthode statique</i>	76
<i>Tableau IV-2 : Résultats de Méthode impact</i>	78
<i>Tableau IV-3 : Les valeurs de résistance moyennes mesurés de chaque méthode</i>	80
<i>Tableau IV-4 : Les valeurs de sensibilité à l'eau mesurés de chaque méthode</i>	81

Liste Des Symboles

<i>F</i>	<i>Filler</i>
<i>s</i>	Sable fin
<i>S</i>	Sable grossier
<i>G</i>	Gravier
<i>K</i>	Module de richesse
Σ	Surface spécifique
<i>TL</i>	Teneur en liant
<i>M_{J+l+k}</i>	Masse des éprouvettes après k jours d'immersion dans l'eau, exprimée en grammes
<i>J</i>	Jours
<i>M</i>	Masse des éprouvettes
<i>I</i>	Résistance à la compression avec immersion à 18°C en Kg/cm ²
<i>C</i>	Résistance à la compression sans immersion à 18°C en Kg/cm ²
<i>h_{min}</i>	La hauteur minimale correspondent un pourcentage de vide = 0 %
<i>H</i>	Hauteur des éprouvettes
<i>D</i>	Diamètre
<i>MVR</i>	Masse Volumique Réel
<i>MVA</i>	Masse Volumique Apparente
<i>V</i>	Pourcentage de vide
<i>PCG</i>	Presse Cisaillement Giratoire
<i>M_{ij}</i>	Déformation local en mm
<i>M_{ij0}</i>	La mesure initiale à l'emplacement
<i>P_i</i>	le pourcentage de profondeur d'ornièrre mesurée (%)
<i>E*</i>	Module complexe
<i> E* </i>	Module de rigidité
ϕ	Angle de phase
<i>E1</i>	Module d'élasticité dynamique
<i>E2</i>	Module de perte
<i>E₀</i>	Module de rigidité initiale avant fatigue
<i>S</i>	la sollicitation imposée (contrainte ou déformation imposée)
<i>N</i>	la durée de vie correspondante
ϵ	La déformation correspondant une rupture à 1 millions cycles
ϵ_0	La déformation correspondant une rupture à 1 millions cycles
<i>MDE</i>	Micro-Deval
<i>LA</i>	Los Angeles
<i>ES</i>	Essaie D'équivalent De Sable

***INTRODUCTION
GÉNÉRALE***

INTRODUCTION GENERALE

La réalisation des ouvrages soient bâtiments ou routes nécessite études et contrôles pour assurer la qualité de ces ouvrages en exploitation.

Dans ce sens la notion normalisation est désignée pour spécifier la méthodologie de l'étude et contrôle. Chaque pays a élaboré des organismes de normalisation nationaux, et il y a des organismes régionaux et internationaux. L'Algérie avec sa organisme **IANOR** a élaboré des normées « **NA** » qui sont déduits des normes européenne et française.

Vis à vis du développement scientifique des méthodes techniques, la mise à jour des normes est nécessaire.

Les laboratoires tels que le LTPS sont contraints de suivre des normes des essais dans ce travail technique avec une grande mise à jour dans la réalisation des essais d'enrobé en tenant compte de la « Sensibilité à l'eau des mélanges bitumineux ».

Cette mise à jour de cette norme offre plusieurs choix dans les méthodes de préparation afin que le laboratoire puisse répondre aux attentes des réponses aux questions posées suivantes : « quel est la meilleure méthode ? et « c'est quoi la différence entre ces méthodes ? »

Afin de répondre à ces questions on a procédé à plusieurs études comparatives entre deux méthodes de préparation de compactage statique et de compactage impact.

Le développement de ces études comparatives prévues pour répondre à nos préoccupations dans la réalisation des résultats obtenus ont fait l'objet de quatre chapitres ci-dessous présentant la méthodologie de notre étude.

Les généralités sur les enrobés bitumineux et les études de leur formulation, présentent les notions de base des différents matériaux composants les enrobés et leur origine. Une présentation des notions de calcul dans le domaine des enrobés bitumineux est associée à notre travail pour aboutir aux objectifs fixés par les contraintes rencontrées.

Des méthodes de mesure des performances des enrobés bitumineux seront introduites dans cette partie regroupant les différents essais qui ont été utilisées dans ce travail dans le but de mesurer les performances de notre composition. La partie expérimentale qui sera réalisée nous permettra de confirmer et vérifier les résultats approximativement obtenus.

INTRODUCTION GENERALE

La caractérisation des matériaux présente les différents résultats des essais réalisés sur les matériaux utilisés dans notre étude pour répondre aux attentes des utilisateurs.

En conclusion, les résultats et les commentaires qui découleront de la méthodologie de notre étude sur le mélange bitumineux seront les objectifs à atteindre dans ce travail.

CHAPITRE 1
GENERALITE SUR LES ENROBES
BITUMINEUX ET
ETUDE DE FORMULATION

I-1- INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous allons passer sur des généralités sur les routes et des définitions sur enrobés bitumineux. Tout d'abord nous présentons brièvement quelques généralités sur les routes, leurs composants et type, et par la suite un aperçu sur l'enrobé bitumineux et ses composants (bitume et granulats) avec les caractéristiques appropriées de chacun d'eux. Ensuite, nous étudions la formulation de l'enrobé en considérant les paramètres suivants : la teneur du bitume, la dureté du bitume et la grosseur des granulats...qui ont des influences sur la compacité, la mise en œuvre et la durabilité..., ainsi que les principaux essais de caractérisation selon les normes pour obtenir un enrobé selon le choix désiré.

I-2- GENERALITES SUR LES ROUTES :

I-2-1- Définitions :

La route est une voie aménagée pour la circulation des véhicules automobiles ou autres ainsi que des piétons. A l'intérieur des agglomérations, la route prend le nom de rue, avenue, boulevard...etc.

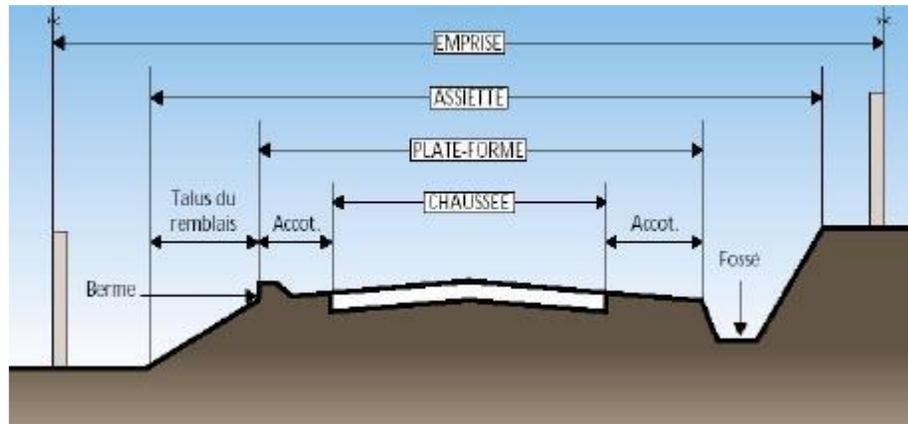


Figure I.1 : profil en travers.

I-2-2- les composants d'une route :

L'emprise : est la surface qui lui est affectée et qui comporte toutes ces dépendances.

L'assiette : surface du terrain réellement occupée par la route.

Plate-forme : surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements.

Accotements : la bande de la plate-forme bordant extérieurement les deux côtés de la chaussée.

La chaussée : la partie de route, généralement revêtue, sur laquelle circulent les véhicules.

Pour assurer une circulation rapide et confortable, la chaussée doit avoir une résistance parfaite pour supporter tout genre de véhicules et rapporter leurs poids sur le terrain de fondation. C'est cette partie qui nous intéresse dans ce chapitre.

I-3- constitution et rôle d'une chaussée : les différentes couches :

Vue leur rôle ; les chaussées, se présentent comme des structures multicouches dont les épaisseurs doivent être suffisantes de manière à supporter sans dégradation la pression verticale transmise au sol.

Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, on peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques croissantes.

En général, on rencontre les couches suivantes à partir du sol :

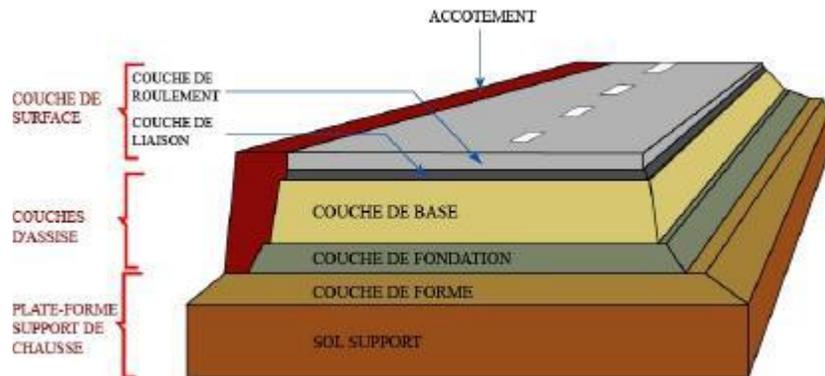


Figure I.2 : Coupe type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches.

A- Le sol support : est généralement surmonté d'une couche de forme pour former un ensemble appelé plate-forme support de chaussée. Cette dernière sert, comme son nom l'indique, de support au corps de chaussée.

B- Couche de forme :

La couche de forme est un élément de transition qu'on l'introduit entre le sol support et les couches de sol afin d'améliorer et d'uniformiser la portance du sol.

Cette couche, ne fait pas partie intégrante de la chaussée, elle peut constituer soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités aux liants hydrauliques.

Elle a plusieurs fonctions :

- Lors des travaux, elle protège le sol support, contribue au nivellement et permet la circulation des engins de chantier.
- Elle permet de rendre plus homogènes les caractéristiques du sol terrassé et de protéger ce dernier du gel.

C- Les couches d'assise :

L'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches : la couche de fondation, surmontée de la couche de base.

- **Couche de fondation** : elle est constituée de gravier concassé 0/40 d'une épaisseur de 20 cm. Elle répartit les pressions sur le support, afin de maintenir les déformations.
- **Couche de base (G.B)** : elle est constituée de gravier 0/25 et bitume elle est d'une épaisseur de 20 cm. cette couche supporte exactement l'action des véhicules à l'intérieur de laquelle les pressions élevées s'atténuent avant d'être transmise à la couche de fondation.

D- La couche de surface :

A son tour la couche de surface a généralement une structure bicouche :

- **La couche de roulement** : c'est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. On lui demande des qualités d'usage précises à savoir : une forte adhérence, une bonne dérivabilité, un bon niveau d'uni et une réduction du bruit de roulement des véhicules. Selon les besoins, on utilise soit la technique des enrobés épais, soit celle des enrobés minces ou bien celle des enrobés très minces voire ultra minces.
- **La couche de liaison** : l'apport structurel de cette couche est secondaire (sauf les chaussées à assise granulaire dont la couche de surface est la seule couche liée), elle est tributaire de la pérennité de la chaussée.

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

- La sécurité et le confort des usagers, en relation avec les caractéristiques de surface;

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

Suivant la description fonctionnelle des couches de chaussée, le guide technique français sur la conception et le dimensionnement des structures de chaussée (LCP 94) propose un panel de matériaux de construction qu'on peut regrouper en deux grandes familles selon qu'ils soient liés ou non liés :

- **Les matériaux granulaires non liés** : ou encore Graves Non Traitées (GNT), utilisés pour la réalisation des chaussées à faibles trafics ;
- **Les matériaux granulaires liés** : utilisés pour la réalisation de structures de chaussées à forts trafics.

Si l'on se réfère à la couleur du liant utilisé pour former le mélange avec les matériaux granulaires, on trouve :

- **les matériaux noirs** : traités aux liants hydrocarbonés ;
- **les matériaux blancs** : traités aux liants hydrauliques (MTLH).

I-4- les différentes structures de chaussées :

Les structures de chaussées sont classées selon la nature des matériaux, leur localisation dans la structure de chaussée et l'intensité du trafic (SET 94, Gidel,2001), en :

I-4-1- les chaussées souples :

Principalement utilisées pour la réalisation des routes secondaires peu empruntées par les poids lourds (moins de 200 poids lourds par jour).

Elles sont constituées de couche bitumineuse inférieure à 15 cm, mais parfois limité à un enduit superficiel, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités. L'épaisseur 30 à 60 cm, compactées par couches de 20 à 30 cm.

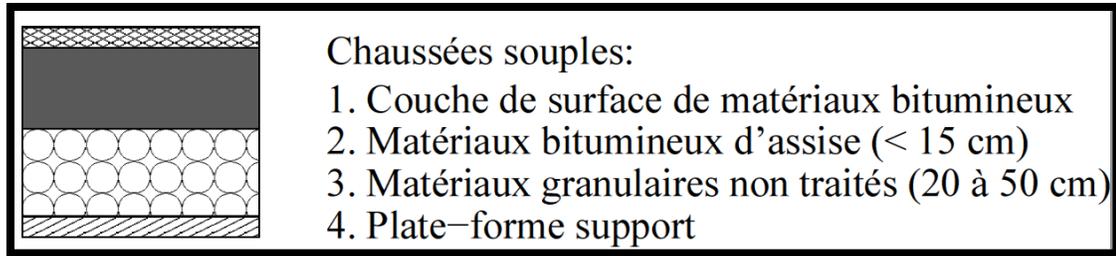


Figure I.3 : Les constituants d'une chaussée souple.

Sous la charge du trafic, chaque couche constituant cette chaussée transmet sur la couche suivante une charge uniformément répartie.

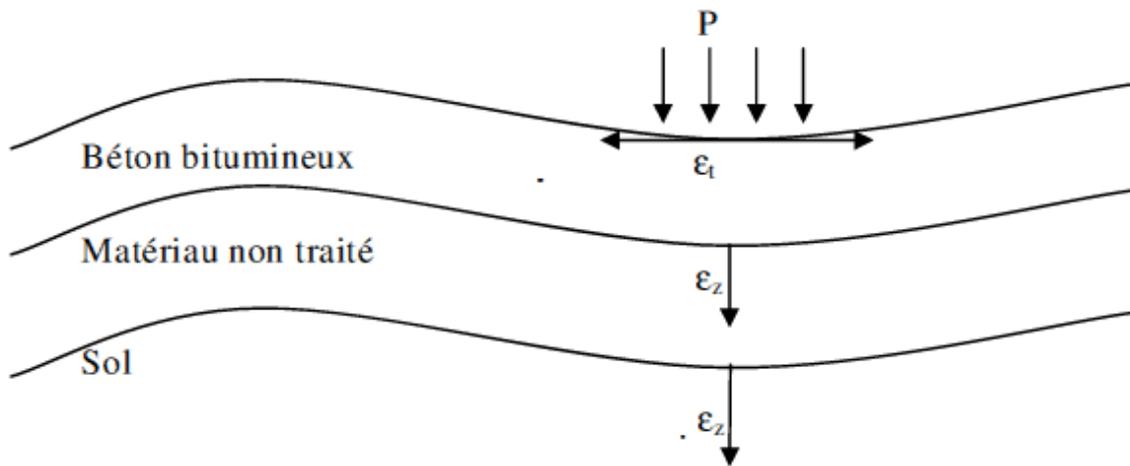


Figure I.4: schématisation du fonctionnement des chaussées souples.

Les couches de cette structure sont disposées par ordre croissant de rigidité, du sol vers la surface de la chaussée. Les ordres de grandeur des modules sont de 50 MPa environ pour le sol et de 5 000 MPa environ pour l'enrobé.

Compte tenu de la faible épaisseur de la couverture bitumineuse des chaussées souples, les sollicitations dues au trafic se répercutent sur le support avec une faible dispersion horizontale ; donc les contraintes verticales sont élevées et engendrent par leurs répétitions des déformations permanentes.

Sous ces sollicitations ainsi que sous les conditions d'environnement (les conditions hydriques) les chaussées souples constituées de matériaux non traités (assise en grave non traitée et sol support de chaussée) se dégradent en donnant deux modes de dégradation : l'orniérage à grand rayon, dû à l'accumulation des

déformations permanentes et la fissuration par fatigue de la couverture bitumineuse provoquée par les efforts répétés de traction-flexion.

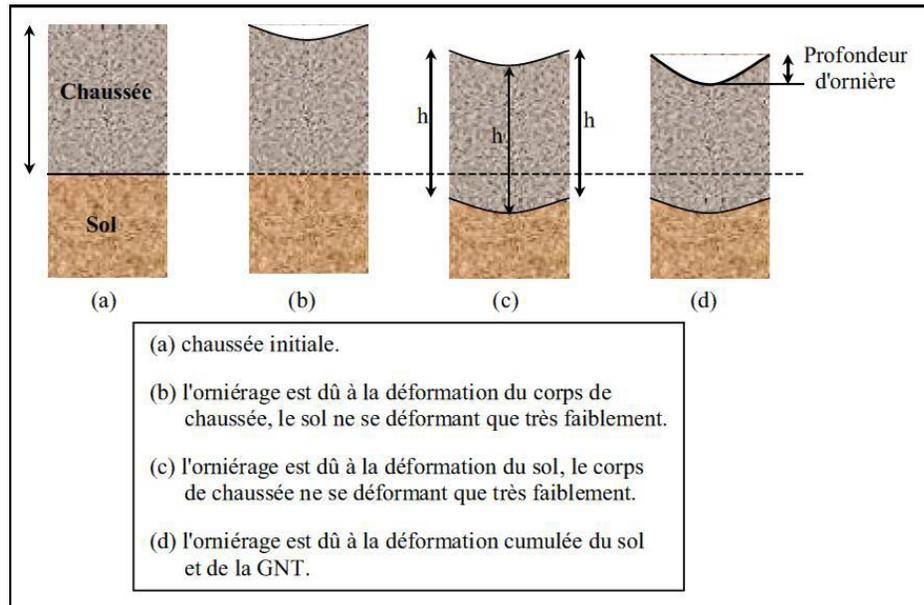


Figure I.5 : les différentes causes d’orniérage des chaussées souples.

Selon des essais réalisés par Lasen (LAR 97) et Theyse (THE 97) ont montré que la contribution de la couche GNT à l’orniérage est très importante et peut atteindre les 50% (cas (b) et (d)).

La sensibilité de ce type de structure aux variations de la teneur en eau est due à la perte de rigidité dans les matériaux non liés.

I-4-2- Les chaussées bitumineuses épaisses :

Ces structures se composent d’une couche de roulement bitumineuse surmontée un corps de chaussée d’épaisseur comprise entre 15 et 40cm (composé d’une couche de base et une couche de fondation) en grave traitées aux liants hydrocarbonés ou hydrauliques.

Vue la différence d’épaisseur de la couche d’assise entre la chaussée simple et la chaussée épaisse, leur fonctionnement se différent.



Chaussées bitumineuses épaisses:

1. Couche de surface de matériaux bitumineux
2. Matériaux bitumineux d’assise (de 15 à 40 cm)
3. Plate-forme support

Figure I.6 : Chaussées bitumineuses épaisses [LCPC, 1994].

La diffusion et l'atténuation des charges du trafic transmises aux sols sont atteints grâce à la rigidité et la résistance en traction.

Le collage des couches a une grande importance pour ce type de chaussée car il permet les allongements maximaux à la base des couches les plus profondes et donc évite les sollicitations en traction de chaque couche, qui conduisent à la ruine prématurée de la structure.

I-4-3- Les chaussées semi-rigides (ou à assise traitée aux liants hydrauliques) :

Assise traitée aux liants hydrauliques de 20 à 50 cm avec une couche de surface en matériaux hydrocarbonés d'épaisseur 6 à 14 cm.

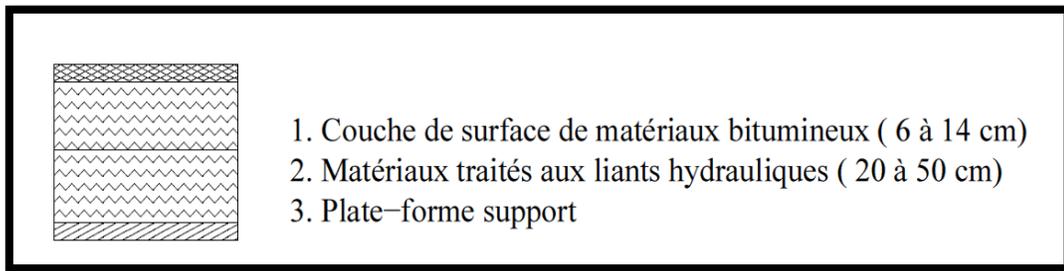


Figure I.7: Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques [LCPC, 1994].

Ces chaussées sont qualifiées de semi-rigide. La grande rigidité des couches d'assise traitée limite les contraintes transmises aux couches de chaussée, elles sont par contre soumises à des contraintes de traction-flexion déterminantes pour leur dimensionnement.

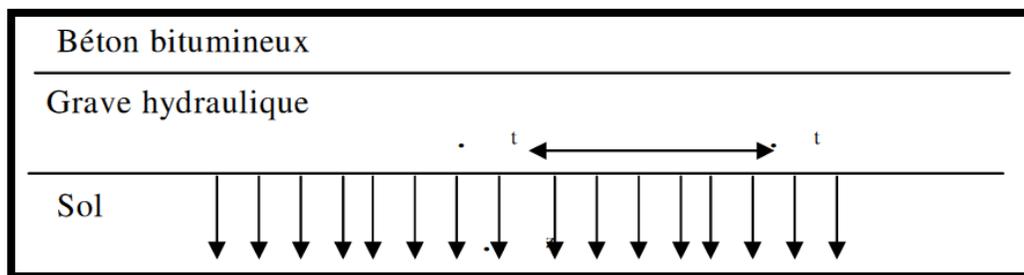


Figure I.8: schématisation du fonctionnement des chaussées semi-rigides.

L'interface couche de surface-couche de base est une zone sensible car :

- elle est soumise à de forte contrainte normales et de cisaillement horizontal ;
- les centimètres supérieurs de l'assise traitée sont souvent de plus faible résistance.

Le phénomène de retrait est l'un des problèmes qu'on rencontre dans ce type de chaussées, malgré qu'il est empêché par le frottement entre la couche d'assise et le sol support jusqu'à la couche de roulement ; il remonte au travers la couche de roulement.

I-4-4- Les chaussées rigides (ou en béton de ciment) :

Sont constituées d'une couche de béton de 15 à 40 cm recouverte d'une couche mince en enrobés bitumineux.

La couche de béton peut surmonter :

- une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton de ciment ;
- une couche drainante en matériaux non traités ;
- une couche bitumineuse qui repose sur une couche de forme ;

La couche de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal (béton armé continu) ou discontinue avec ou sans éléments de liaison aux joints.

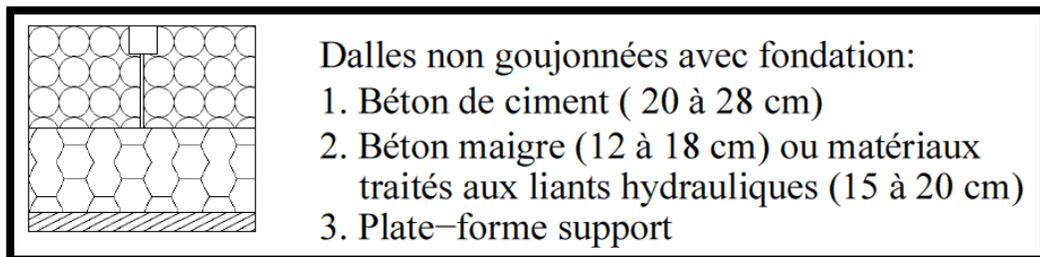


Figure I.9 : Dalles non goujonnées avec fondation.

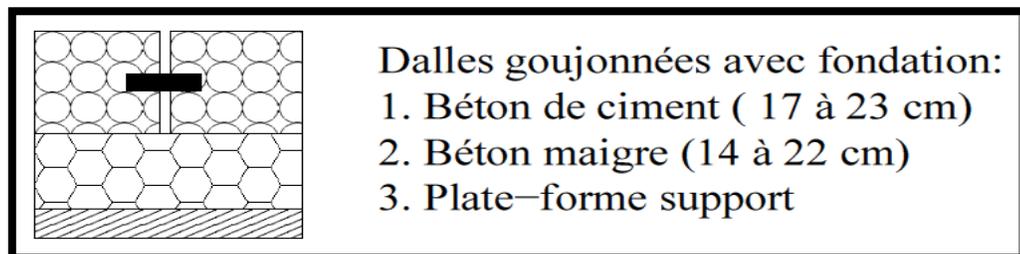


Figure I.10 : Dalles goujonnées avec fondation.

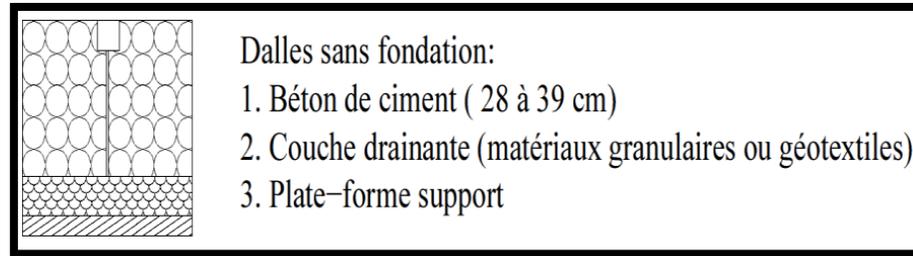


Figure I.11 : Dalles sans fondation.

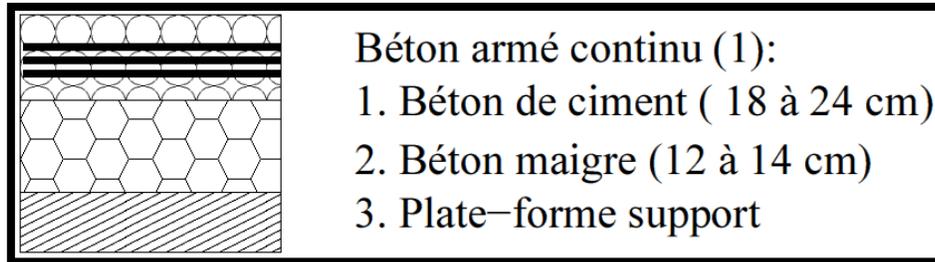


Figure I.12 : Béton armé continu 1.

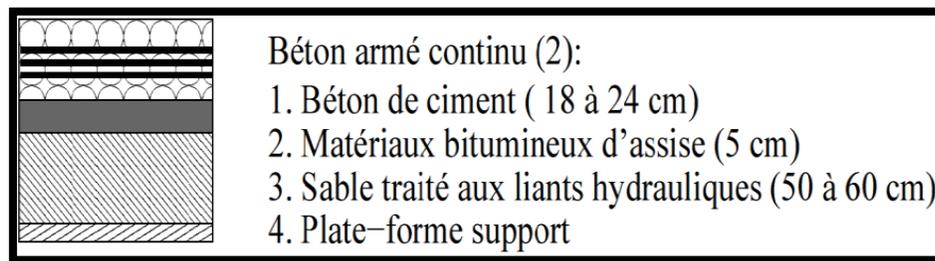


Figure I.13 : Béton armé continu 2.

Au regard du module d'élasticité élevé du béton armé, les sollicitations déterminantes sont celles de traction par flexion dans la dalle. La mise en œuvre du béton de ciment sur une longueur importante provoque l'apparition des fissures transversales suite au phénomène de retrait empêché. Pour tenir compte de ce phénomène, les derniers types de cette structure introduisent les notions de goujon ou de béton armé continu afin d'assurer une continuité mécanique au franchissement de la fissure.

I-4-5- Les chaussées à structure mixte :

Comportent une couche de surface et une couche de base en matériaux bitumineux (10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). De plus, le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de la chaussée est de 1/2.

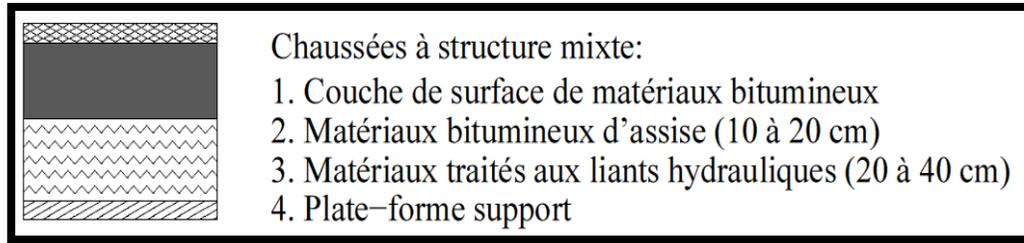


Figure I.14: Chaussées à structure mixte [LCPC, 1994].

La couche de matériau traité aux liants hydrauliques placée en fondation, diffuse et atténue, du fait de sa raideur élevée, les efforts transmis au sol support. Elle constitue un support de faible déformabilité pour les couches supérieures de matériaux bitumineux. La faiblesse de ces structures tient dans la sensibilité des interfaces aux dilatations différentielles, les couches peuvent alors se décoller et les couches supérieures supporter des contraintes qui produisent leur destruction.

I-4-6- les chaussées à structures inverse :

En les comparant aux structures mixtes, les chaussées inverses comportent une couche supplémentaire de matériaux granulaires non traités d'environ 12cm. Cette couche est introduite entre la couche bitumineuse de 15 cm d'épaisseur et la couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques.

L'épaisseur totale de la structure est comprise entre 60 et 80 cm.

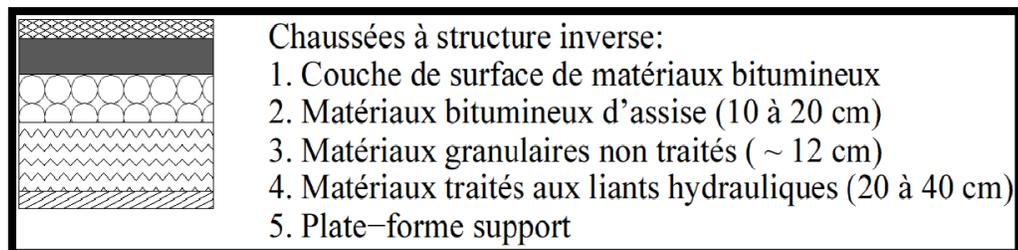


Figure I.15 : Chaussées à structure inverse [LCPC, 1994].

La couche intermédiaire en matériaux granulaires non traités est relativement déformable dans le sens horizontal, elle a pour fonction de limiter les fissures. La dégradation de ces structures est provoquée par des orniérages limités et des fissures transversales de fatigue. La mise en oeuvre est plus sensible aux imperfections que celles pourvues de couche collées, elles sont particulièrement

sensibles à l'eau. En effet, la circulation de l'eau dans la couche intermédiaire conduit rapidement à la ruine des couches supérieures.

I-4-7- les chaussées à structures composite :

C'est une structure qui a été l'objet d'une étude technico-économique au début des années 1990. Cette étude a pour but d'assembler la qualité de durabilité des bétons de ciment avec les qualités souplesse et capacité d'adaptation des matériaux bitumineux.

Deux nouvelles structures ont été développées :

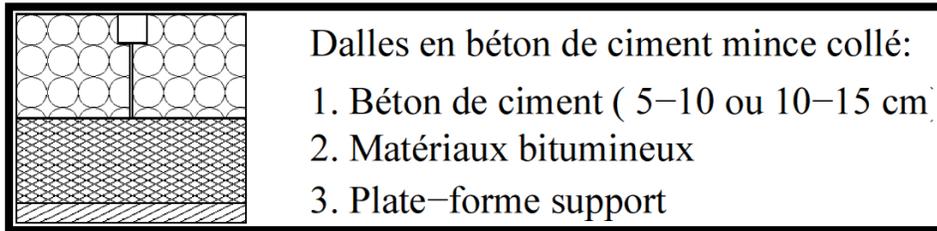


Figure I.16 : Béton de ciment mince collé (BCMC).

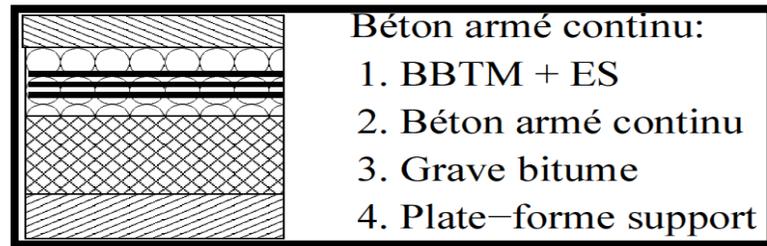


Figure I.17 : Béton armé continu sur Grave bitume (BAC/GB).

a- Béton de ciment mince collé (BCMC) :

Est une technique d'entretien superficiel des structures bitumineuses dégradées, apparue aux Etats-Unis.

Elle consiste d'abord à raboter et à nettoyer la structure dégradée, puis étaler une couche de béton de ciment non armé (épaisseur 5 à 10 cm). L'intérêt de cette technique réside dans l'adhérence de la couche de béton à la structure en matériaux bitumineux.

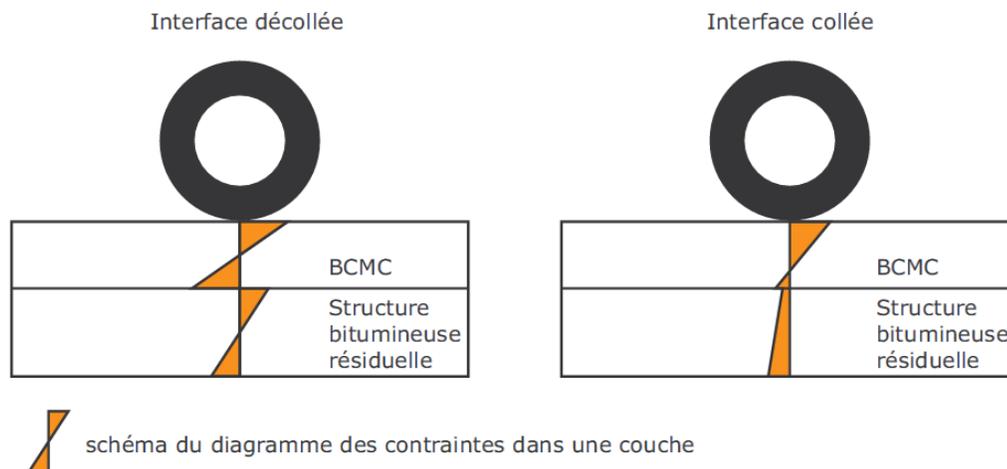


Figure I.18 : influence du collage sur le diagramme des contraintes (a) interface non collée (b) interface collée.

Sous l'influence du chargement du trafic, la structure composite présente grâce à l'interface collée une réduction des contraintes de traction à la base de la couche de béton et garantit à la couche mince une résistance à la fatigue.

I-4-7-b- Béton armé continu sur Grave bitume (BAC/GB) :

Elle est constituée d'une couche de fondation en grave bitume d'épaisseur 9 cm qui surmonte la plateforme support de chaussées. La GB est grenailé avant la mise en œuvre de la couche de béton armé continu (BAC) dont l'épaisseur varie en fonction du trafic. Le rôle des armatures dans le BAC est principalement de contrôler la fissuration transversale sans participer à la résistance aux sollicitations du trafic. (Poteau 2004).

A son tour la couche BAC, est grenailée avant la surmonter par une couche d'enduit superficiel qui assure l'adhérence entre le BAC et la couche de roulement en béton bitumineux très mince (BBTM) (2,5 cm d'épaisseur). Cette adhérence présente l'intérêt de cette technique.

I-5- Dimensionnement des chaussées :

La chaussée doit représenter les qualités recherchées pour qu'elle satisfasse les exigences de l'utilisateur d'une part et pour qu'elle puisse avoir la durée de vie et la qualité de comportement calculées avec toutes les contraintes auxquelles elle est soumise.

D'une part la chaussée doit représenter les qualités recherchées pour qu'elle satisfasse les exigences de l'utilisateur et qu'elle puisse avoir la durée de vie ainsi que la qualité de comportement calculées avec toutes les contraintes auxquelles elle est soumise, et d'autre part elle doit répondre à moindre coût. Pour cela, le dimensionnement de la chaussée tient compte des paramètres suivant :

- le trafic,
- la qualité de la plate-forme support de chaussée,
- les caractéristiques des matériaux de chaussée et la qualité de réalisation,
- les conditions climatiques.

I-5-1- La démarche :

La démarche de dimensionnement reste sensiblement la même quelle que soit la technique de chaussée.

- **Etape 1** : consiste à choisir la couche de roulement puis au pré dimensionnement de la structure.
- **Etape 2** : modélisation de la structure : il s'agit de la présentation de l'empilement de la chaussée puis le calcul des contraintes et les déformations, sous l'essieu de référence de 130KN.
- **Etape 3** : vérification en fatigue de la structure et de la déformation du support : Les contraintes et les déformations calculées doivent être inférieures aux valeurs admissibles.
- **Etape 4** : ajustement des épaisseurs calculées qui a pour but de :
 - Tenir compte des contraintes technologiques d'épaisseur minimales et maximales pour atteindre les objectifs de compacité et d'uni,
 - Minimiser les risques de défauts de collage aux interfaces,
 - Protéger les assises traitées de la remontée des fissures.
- **Etape 5** : vérification de la tenue au gel-dégel,
- **Etape 6** : définition de la coupe transversale de la chaussée.

I-5-2- Modélisation :

Sous l'effet de l'essieu standard de référence de 130KN, on calcule les contraintes tangentielles (σ_T) et les déformations verticales (ϵ_Z) et tangentielles (ϵ_T) aux interfaces (collées ou glissantes) des couches d'une chaussée choisie à priori (type de structure, matériaux et épaisseurs des couches constructives).

I-5-3- Vérification de la structure :

Il s'agit de calculer les valeurs de sollicitations admissibles des matériaux de la structure, en fonction de leur localisation dans la structure, de leurs modes de dégradation (rupture par fatigue des couches en matériaux liés et orniérage du sol et couches en matériaux non liés) et du trafic cumulé (nombre de poids lourds). La structure convient si les sollicitations sont inférieures.

I-5-4- Méthode pratique de dimensionnement :

L'utilisation des catalogues des structures types de chaussées et les manuels de conception des chaussées d'autoroutes est considérée comme étant nécessaire puisque les calculs et les Vérifications de dimensionnement sont très longs.

Un guide technique de conception et de dimensionnement des structures des chaussées a été aussi élaboré et. Ce guide constitue un cadre de référence technique unitaire permettant d'aborder, selon une démarche commune, la définition des différentes structures de chaussée en fonction de la stratégie d'investissement et de gestion retenue par chaque maître d'ouvrage.

I.6. DEFINITION DE L'ENROBE 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. [KHENGAOUI.S ;2013]

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. [KHENGAOUI.S ;2013]

I.6.1. COMPOSITION DES ENROBES BITUMINEUX :

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

Liants hydrocarbonés :

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

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

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

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

b) Les goudrons, qui proviennent de la pyrogénéation, à l'abri de l'air, de matières d'origine végétal : houille, tourbe, bois, lignite...etc.

c) 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 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. [KHENGAOUI.S ;2013]

I.6.2. Granulats :

Les granulats utilisés dans les enrobés peuvent être divisés en deux grandes catégories : les granulats naturels en provenance de carrières, sablières et gravières et les granulats d'autres origines tels que des granulats recyclés, des sous-produits d'origine industrielle ou des granulats fabriqués pour un usage spécifique. [Bitume Québec ; 2008]

I.6.3. Rôles des granulats dans l'enrobe :

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

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

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

Les granulats utilisés dans la confection des enrobés bitumineux doivent donc répondre à des critères de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. [KETTAB R. B et J.M. FLEUREAU ; 2002]

I.6.4. Classification des granulats :

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

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

On peut distinguer les classes granulaires suivantes :

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

Le filler est constitué des éléments très fins, de diamètre inférieur à 63 microns. Il provient du dépoussiérage de granulats ou de production industrielle par mouture de roche, ces fillers à une surface spécifique très élevée et il absorbe une part importante du liant. [CORTE ET DI BENEDETTO 2005]

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

La propreté du filler, en particulier sa faible teneur en argile, est primordiale afin de garantir un bon comportement mécanique. [CORTE ET DI BENEDETTO 2005]

L'arrangement des différentes classes granulaires forme la courbe granulométrique d'un mélange bitumineux. [CORTE ET DI BENEDETTO 2005]

I.7.CLASSIFICATION DES ENROBES BITUMINEUX :

Les " Enrobés bitumineux" sont des matériaux résultant d'un mélange des granulats et d'un liant hydrocarboné. Le mélange liant – granulats obtenu est constitué de trois phases : [S.LALDJI ; 2015]

- La phase solide : représentée par le squelette granulaire ;
- La phase visqueuse : représentée par l'apport du liant qui assure la cohésion ;
- La phase gazeuse : représentée par le pourcentage des vides contenu dans le mélange.

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

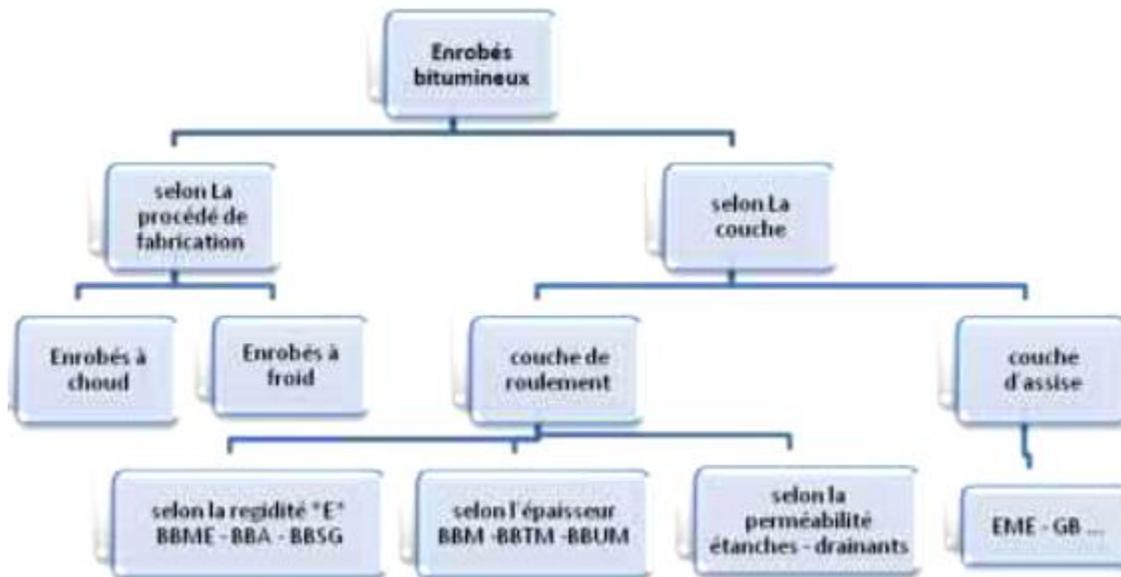


Figure I.19. Classification des enrobés bitumineux. [HACHANI. M, DAAS. D ; 2013]

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

I.7.1. Béton bitumineux (BB) :

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

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

Leur domaine d'utilisation diriger vers :

- Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison des bonnes caractéristiques mécaniques. Il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement.
- Selon le type, il convient pour couche de roulement ou couche de liaison de routes, autoroutes et aérodromes. Il est fabriqué, mis en œuvre et compacté à chaud. [CTTP ; 2004]

I.7.3. Grave-Bitume (GB) :

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

Elle est appropriée pour couche de base de routes, autoroutes et aérodromes. Elle est fabriquée, mise en œuvre et compactée à chaud et assure la portance de la

chaussée et la répartition des charges du trafic transmis par les couches de surface. Elle sert aussi à établir le profil souhaité de la chaussée respectivement comme couche de reprofilage. [CDC-ENR05 ;2005]

Leur domaine d'utilisation diriger vers :

- La technique des graves bitumes est destinée à la réalisation des assises de chaussée (couche de base et couche de fondation).
- Réseau RP1 : Classes de trafic TPL3 à TPL7. [CTTP ; 2004]

I.7.4. Sable bitume (SB) :

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

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

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

I.7.5. Bétons bitumineux à module élevé (BBME) :

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

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

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

I.7.6. Enrobe à module élevé (EME) :

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

Ils se caractérisent par un module de rigidité élevé atteignant 17000MPa et une plus grande résistance à la fatigue que les enrobés classiques. [DJABRI. A et HAMMANA. A ; 2016]

On distingue deux classes de performance classe 1 et classe 2. Les granularités utilisées sont 0/10, 0/14 et 0/20. [DJABRI. A et HAMMANA. A ; 2016]

Chaque type d'EME comprend deux classes granulaires qui diffèrent entre elles notamment par leur teneur en liant et la dureté. On distingue : [DJABRI. A et HAMMANA. A ; 2016]

- **EME Classe 1** : correspond à des graves bitumes à module élevé obtenues par l'emploi d'un bitume dur, aux dosages voisins de ceux des graves bitumes (GB).
- **EME Classe 2** : correspond à un enrobé à module élevé comportant, de plus, un très bon comportement en fatigue, du fait du dosage élevé en bitume dur, généralement parlant de l'EME.

Les types des enrobes mentionnés au-dessus les plus connus et utilisés en Algérie, reste entre types des enrobes tels que drainant, aéronautique...etc.

I.8. ETUDE DE FORMULATION :

La qualité des matériaux utilisés influe grandement sur le comportement mécanique des enrobés. Les principaux éléments ayant la plus grande influence sur la résistance mécanique sont : [S. KHENGAOUI ; 2013]

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

Tous ces éléments doivent être analysés par le concepteur afin de proposer un mélange correspondant aux caractéristiques optimales en termes de résistance mécanique et de susceptibilité thermique.

I.9. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX :

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

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

- Pénétrabilité

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

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

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

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

I.10. DETERMINATION DU MELANGE MINERAL :

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

La méthode consiste à : [A. BOUMADIANE, 2015]

- Tracer sur le même graphique les courbes granulométriques moyennes des classes granulaires choisies pour la composition du mélange granulaire, le fuseau granulométrique relatif au mélange minéral de l'enrobé étudié et la courbe médiane de ce fuseau.
- Tracer la droite joignant le point correspondant à 5% de passants sur la courbe de la première gravette, au point correspondant à 95 % de passants sur la courbe de la deuxième gravette (ordre décroissant des Dmax).
- Le point d'intersection de cette droite avec la courbe médiane du fuseau détermine le pourcentage pondéral de la première gravette dans le mélange minéral (Figure II.1).

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

A partir des courbes moyennes des classes granulaires, on calculera la courbe du mélange minéral le pourcentage de passants à un tamis pour la courbe de mélange est la somme des pourcentages de passants au même tamis des courbes des

constituants pondérés par les proportions correspondantes. [A. BOUMADIANE, 2015]

La courbe granulométrique du mélange minéral calculée devra ensuite être tracée dans un graphique et être comparée au fuseau de spécifications. [A. BOUMADIANE, 2015]

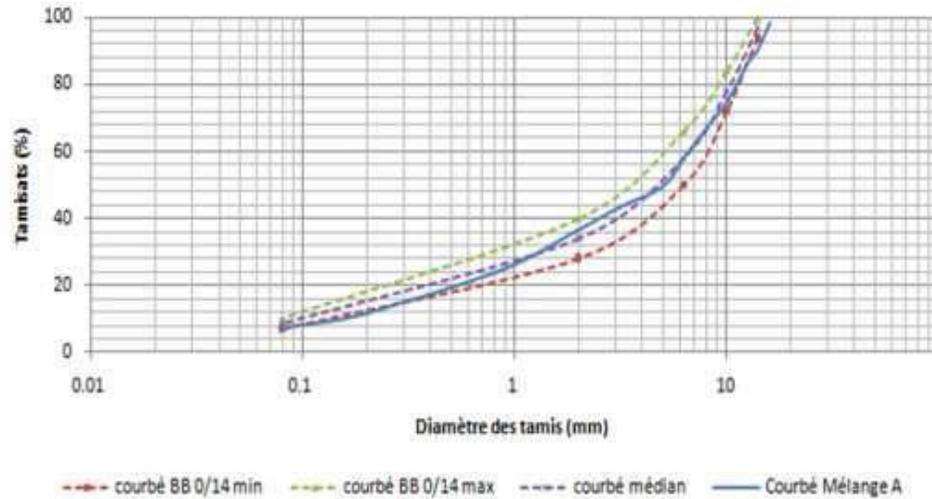


Figure I. 20. Un exemple d’un courbe de mélange inscrite le fuseau de référence. La composition granulométrique du mélange devra être, selon le type d’enrobé, [J.L.DELORME et al. ; 2007], à l’intérieur des fourchettes données dans le tableau suivant :

Tableau I. 1. Valeur de fuseau d’un BBME 0/14. [HACHANI. M, DAAS. D ; 2013]

Tamis (mm)	Pourcentage des passants (%)	
	min	Max
14	94	100
10	72	84
6.3	50	66
4	40	54
2	28	40
0,063	7	10

I.11. TENEUR EN LIANT OPTIMALE BITUMINEUX :

La teneur en liant à retenir est définie à partir d'une étude de laboratoire qui consiste à choisir à partir d'un granulat simple ou composé entrant dans le fuseau recommandé. Elle sera fonction de la surface spécifique des granulats selon la formule [13] suivante :

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

Avec :

- **K** : module de richesse pouvant prendre les valeurs suivantes :
2 à 2,6 pour les graves bitumes
3,3 à 3,9 pour un béton bitumineux
- **α** : coefficient correcteur destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats.

$$\alpha = 2,65 / \text{masse volumique des granulats}$$

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

Avec :

- G** : pourcentage des éléments supérieurs à 6,3 mm ;
- S** : pourcentage des éléments compris entre 6,3 mm et 0,250 mm ;
- s** : pourcentage des éléments compris entre 0,250 mm et 0,063 m ;
- f** : pourcentage des éléments inférieurs à 0.063 mm .

I.12. ESSAI SUR GACHET AU LABORATOIRE :

Des mélanges préparés au laboratoire a différents dosages en liant (autour des dosages calculés), seront soumis aux différents essais au but de déterminer leurs performances mécaniques selon les quatre niveaux d'étude de formulation. [J.L. DELORME et al. ; 2007]

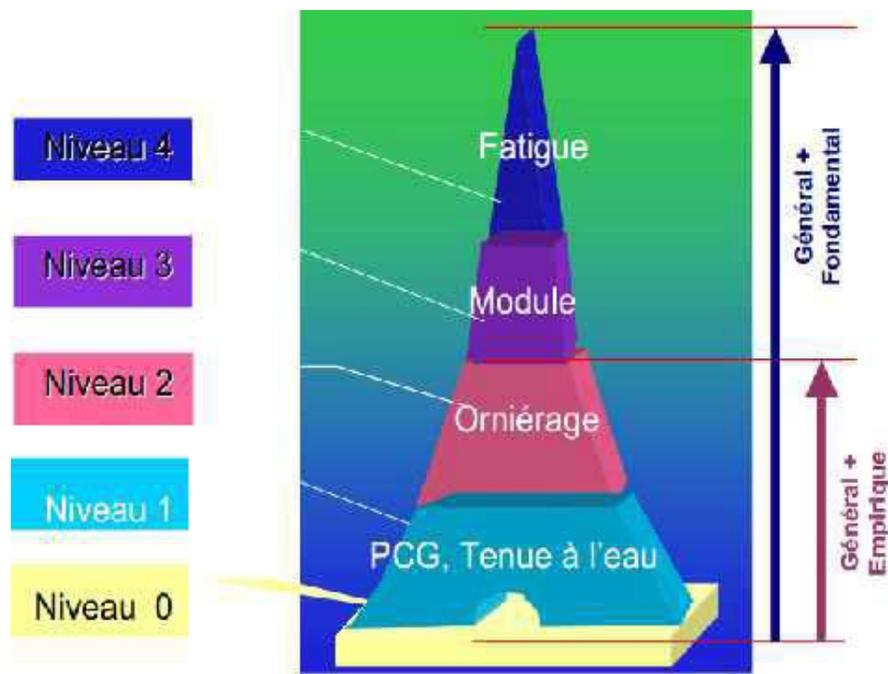


Figure I. 21. Epreuve de formulation (Essai approche empirique et fondamental).
[J.L. DELORME et al. ; 2007]

I.13. CONCLUSION :

Comme nous avons vu précédemment le béton bitumineux est constitué de deux éléments principaux ; les granulats et le bitume.

La liaison entre ces deux composants est très complexe et pour formuler un enrobé convenable plusieurs critères sont à prendre en considération telle que le trafic, les conditions climatiques et les matériaux existants...etc.

Le mélange bitume-agrégat obtenu doit avoir :

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

CHAPITRE II
METHODES DE MESURE DES
PERFORMANCES DES ENROBES
BITUMINEUX

II.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous présentons un aperçu sur l'étude de formulation des enrobés bitumineux et les principaux essais sur ces enrobés dans la phase étude et des phases contrôle.

II.2. ÉTUDE DE FORMULATION :

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

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

II.2.1. Composition granulaire :

A partir des courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies pour la réalisation de l'étude de formulation, on compose un mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite dans les limites du fuseau défini par les spécifications. Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination des courbes de mélanges. On examinera dans la suite l'une des méthodes les plus simples et rapides.

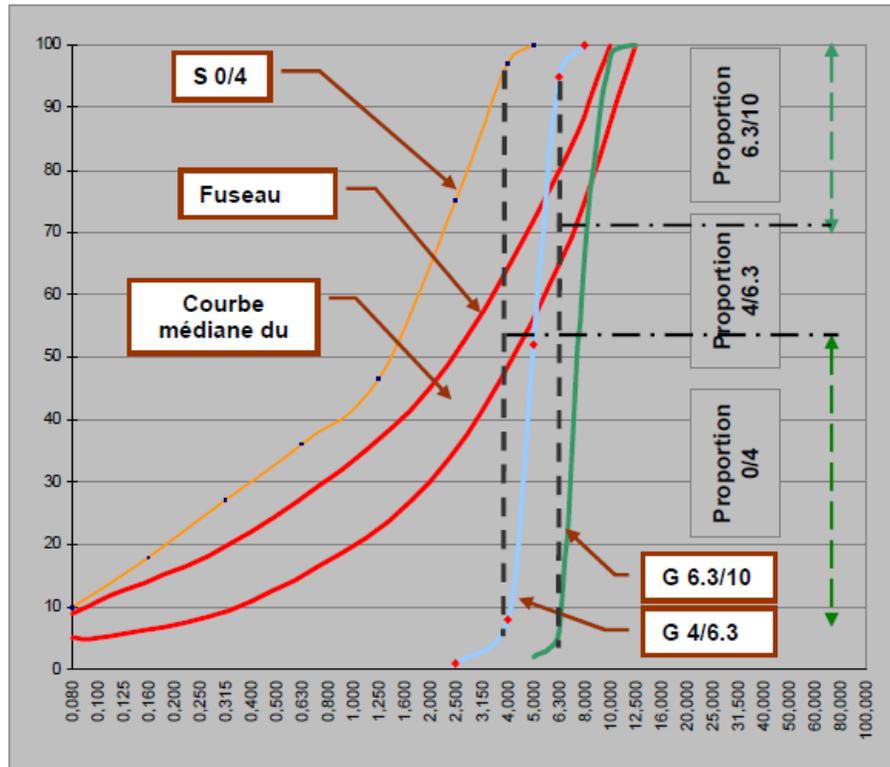


Figure II.1. Un mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite.

La méthode consiste à :

Tracer sur le même graphique les courbes granulométriques moyennes des classes granulaires choisies pour la composition du mélange granulaire, le fuseau granulométrique relatif au mélange minéral de l'enrobé étudié et la courbe médiane de ce fuseau ;

Tracer la droite joignant le point correspondant à 5% de passants sur la courbe de la première gravette, au point correspondant à 95 % de passants sur la courbe de la deuxième gravette (ordre décroissant des Dmax).

Le point d'intersection de cette droite avec la courbe médiane du fuseau détermine le pourcentage pondéral de la première gravette dans le mélange minéral. Les opérations 2 et 3 sont répétées pour l'obtention des proportions des autres classes granulaires.

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

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

A titre exemple, on aboutira à la courbe suivante :

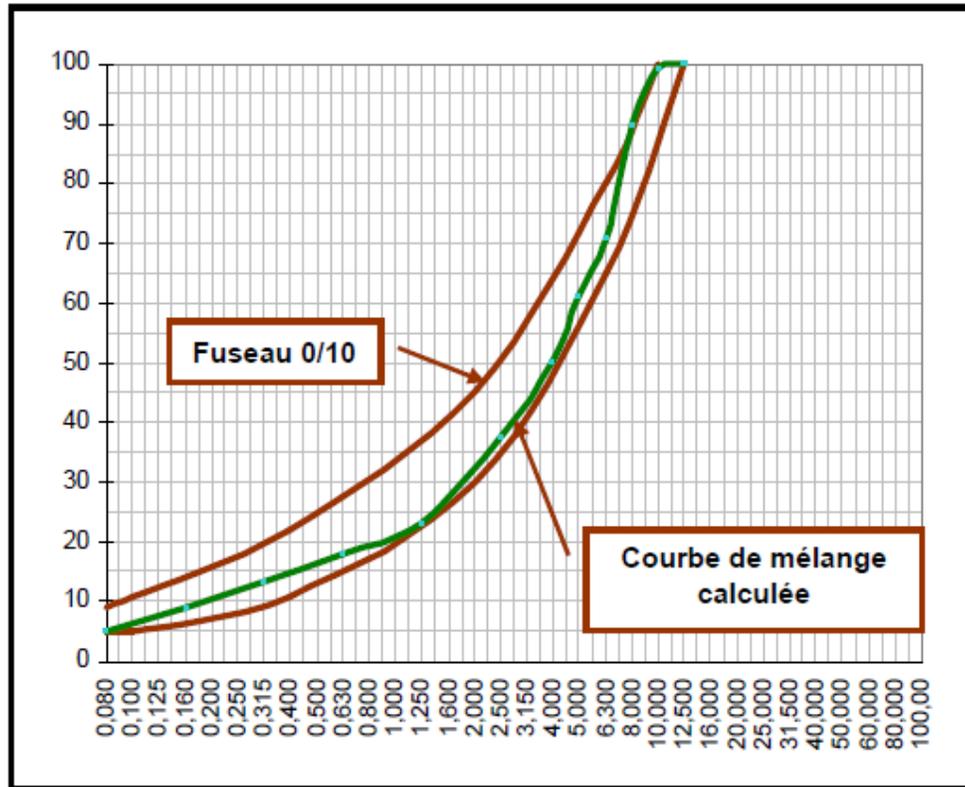


Figure II.2. La courbe granulométrique échantillon de mélange minéral reconstitué au laboratoire.

La courbe granulométrique théorique obtenue est tangente au fuseau de spécifications pour la fraction 1/1.6 mm tout en étant inscrite dans les limites du fuseau. Il faudra d'autre part procéder à un essai d'analyse granulométrique sur un échantillon de mélange minéral reconstitué au laboratoire selon les proportions retenues afin d'apprécier la courbe réelle du mélange minéral et de procéder aux éventuelles corrections.

Détermination du dosage en liant :

Les teneurs en bitumes qui serviront pour la réalisation de l'étude de formulation seront fixées par le module de richesse K et la surface spécifique σ du mélange minéral retenu.

- Le module de richesse K symbolise l'épaisseur du film de bitume qui enrobe les granulats. Il est cerné par les spécifications dans une fourchette de 3.45 à 3.90.
- La surface spécifique caractérise la surface globale développée par les grains constitutifs du mélange minéral. Elle est calculée à partir de la courbe granulométrique par la relation :

$$\Sigma = 0.20 g + 2.2 S + 12 s + 135 f \text{ exprimée en m}^2/\text{Kg}, \text{ avec}$$

- g : % d'éléments > 6,3 mm
- S : % d'éléments compris entre 6.3 et 0.315 mm
- s : % d'éléments compris entre 0.315 et 0.08 mm
- f : % d'éléments < 0.08 mm

La relation liant la teneur en bitume de l'enrobé à la surface spécifique conventionnelle du mélange minéral est traduite par la formule suivante :

$$P = \alpha \cdot K \cdot (\Sigma)^{1/5} \text{ avec :}$$

P : teneur en bitume en %

α : coefficient correcteur tenant compte de la masse volumique des granulats :

$$\alpha = 2.65 / \text{MVRg}$$

Les teneurs en bitumes qui serviront pour la réalisation de l'étude de formulation du béton bitumineux doivent être choisies de façon à ce que le module de richesse reste dans la fourchette spécifiée : $3.45 < K < 3.90$

II.3. ESSAIS SUR LES ENROBES BITUMINEUX :

Les propriétés mécaniques et physiques des matériaux bitumineux peuvent être déduites de l'analyse des résultats d'essais de laboratoire. Ces essais, normalisés lorsqu'ils servent au dimensionnement, sont effectués dans des conditions bien définies de température et de sollicitations. Ils sont réalisés sur des éprouvettes confectionnées au laboratoire ou prélevées sur place.

Le niveau d'étude de formulation dépend en général du type d'enrobe, du niveau de sollicitation de la chaussée et de l'importance du chantier.

La plupart des enrobés nécessitent au minimal une étude de deux niveaux exceptés les enrobés à module élevé que la norme EN 13108-1 oriente vers une

étude de niveau 4. Les différents essais présentés ci-dessous permettent de vérifier les caractéristiques de l'enrobé formulé vis-à-vis des normes en vigueur.

[HACHANI. M, DAAS. D ; 2013]

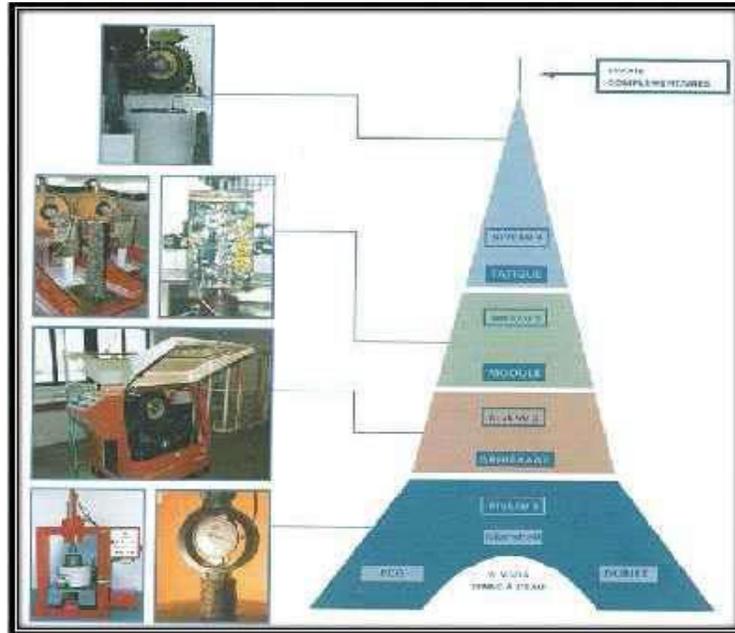


Figure II.3. Niveaux de l'épreuve de formulation. [HACHANI. M, DAAS. D ; 2013]

II.3.1. Niveau 1 :

Le mélange doit satisfaire une fenêtre de pourcentages de vides à l'essai de Presse à Cisaillement Giratoire ainsi que le seuil de tenue à l'eau.

À l'exception du niveau 0, ce niveau est commun à toutes les épreuves. Dans le cas d'applications à faible niveau de sollicitation, le niveau 1 peut être suffisant sans essai complémentaire. La tenue à l'eau est mesurée selon EN 12697-12. [J.L. DELORME et al. ; 2007]

Note : pour certains matériaux, il existe une exigence sur le pourcentage de vides à 10 girations pour l'essai PCG. Cette exigence est reprise dans les normes européennes, mais en tant que spécification « empirique » relative à la résistance à l'orniérage. Il n'est donc pas possible de spécifier à la fois une exigence avec l'essai d'orniérage et le pourcentage de vides à 10 girations, il s'agit d'une sur-spécification. [J.L. DELORME et al. ; 2007]

II.3.1.1. Essai la presse à cisaillement giratoire (PCG) :

Le compactage des mélanges bitumineux est une opération importante en technologie routière, car elle assure la durabilité du revêtement et influence ses caractéristiques mécaniques et sa résistance aux agents physiques extérieurs. Au laboratoire, cependant, les méthodes de compactage les plus usuelles et les plus simples ne sont que de médiocres simulations de ce qui se passe en chantier. Le compactage par chocs suivant la méthode Marshall se fonde sur un principe différent du travail effectuée sur le chantier, les éprouvettes obtenues ont un squelette minéral, qui le plus souvent, se bloque en cours de compactage par arc-boutement des particules granulaires. [J.L.DELORME et al. ; 2007]



Photo II.1. Machine La Presse Cisaillement à Giratoire.

II.3.1.2. Principe d'essai PCG :

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

On observe l'augmentation de compacité (diminution du pourcentage de vides) en fonction du nombre de giratoire. [J.L.DELORME et al. ; 2007]

Pour mesurer la compactibilité, un critère signifie la capacité de compactage des matériaux, deux méthodes peuvent être utilisées. La première, au moins deux éprouvettes sont compactées à différents niveaux d'énergie de compactage avant le mesurage de leur masse volumique apparente. La seconde, une seule éprouvette est utilisée dont on détermine l'accroissement de masse volumique à chaque étape de compactage en fonction de la diminution d'épaisseur (Figure II.2) [NF EN 12697-10, 2003]

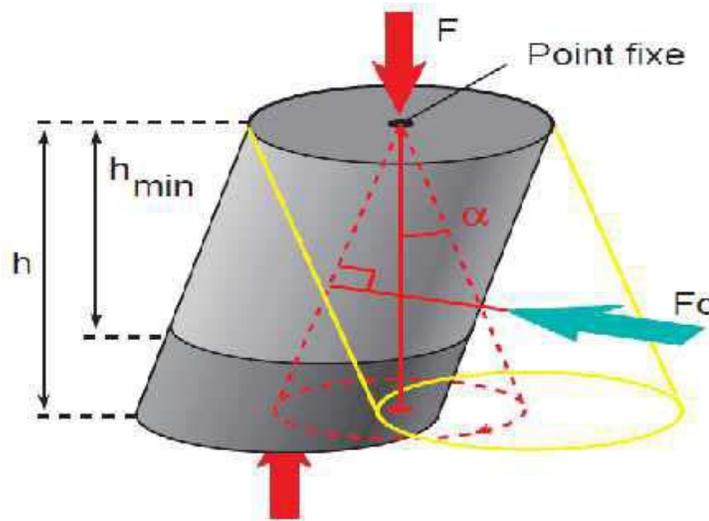


Figure II.5. Principe de Cisaillement Giratoire. [CST COLAS ; 2006]

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

H : hauteur apparente pour N girations ;

F : force axiale ;

F_c : force de cisaillement ;

α : angle d'inclinaison.

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

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

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

Une équation mathématique est déduite des résultats expérimentaux et les paramètres de cette équation caractérisent la compactibilité du mélange [14], l'équation pour le cas de la presse cisaillement giratoire est mentionnée dans le titre, expression de résultats de cette partie.

II.3.1.3. Réalisation d'essai PCG :

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



Photo II.2. Malaxage des granulats avec un bitume pur.

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

II.3.1.4. Type des compacteurs giratoires :

a) **La presse a compactage giratoire de Vicksburg** : Cet appareil, dont le prototype date de la fin des années cinquante, est le premier qui a été commercialisé, la figure II.3 montre la vue en coupe de ce compacteur.

- Le moule A est rempli d'enrobe chaud qui est maintenu à sa température, à l'aide d'une enceinte chauffante avec des résistances électriques. Le moule est placé dans un mandrin dont la bride sert de piste de roulement à deux galets C et D.

- Le vérin E, fixe, et le vérin F, mû hydrauliquement, sont appliqués respectivement sur les faces supérieures et inférieures du moule, ils soumettent le mélange à une pression statique qui est maintenue constante pendant tout l'essai.

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

- Les galets C et D entraînés à cette vitesse par la partie supérieure de l'appareil, avec laquelle ils sont solidaires, exercent en circulant sur la bride des forces de contact, créant un couple dont les points d'application se déplacent avec l'attelage mobile.

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

- Ce mouvement est rendu possible grâce à la plaque métallique G qui est séparé du vérin supérieur E par une butée à billes. Cette plaque peut se déplacer légèrement dans le plan horizontal tout en transmettant à l'enrobe des pressions verticales. Grâce à ce degré de liberté l'échantillon d'enrobe reste solidaire des mouvements du mandrin et pourra subir des déformations en cisaillement.

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

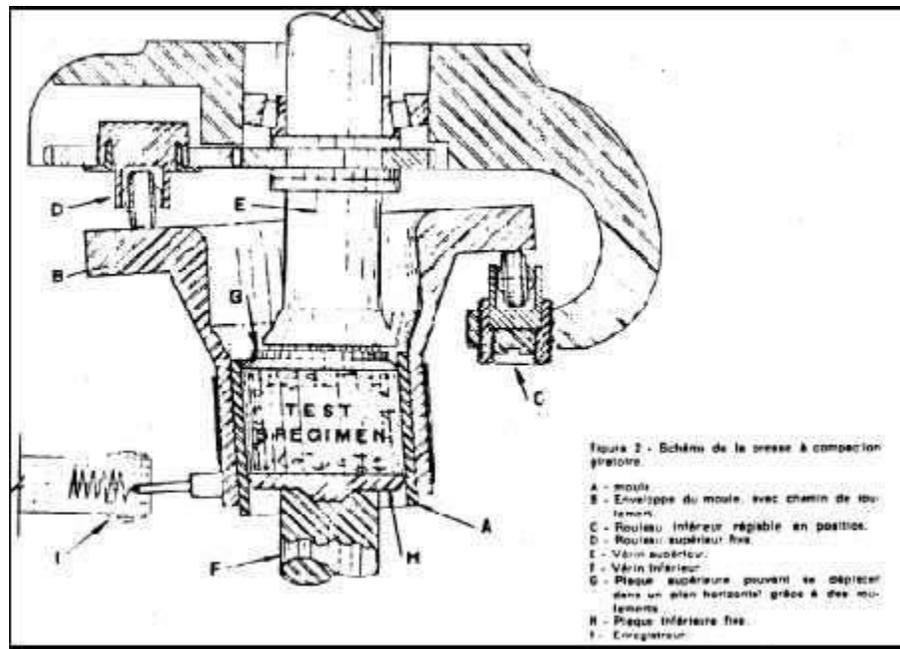


Figure II.6. Mécanisme La Presse à Cisaillement Giratoire de Vicksburg. [J.C. MOREUX ; 1987]

b) L'appareil français des Ponts et Chaussées :

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

Les organes suivants complètent la presse :

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

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

Cet appareil peut fonctionner à angle affiché constant (angle fixe), ou bien à pression d'inclinaison constante (angle variable).

Dans le premier cas le vérin d'inclinaison est utilisé comme un organe de longueur constante provoquant un angle constant dans le plan de l'axe de

l'éprouvette et celui de l'axe du vérin d'inclinaison. Cet angle se trouve libre et donc variable dans les autres plans verticaux.

Dans le second cas, le vérin d'inclinaison exerce une force constante et provoque un angle d'inclinaison variable dans le plan décrit. [J.C. MOREUX ; 1987]

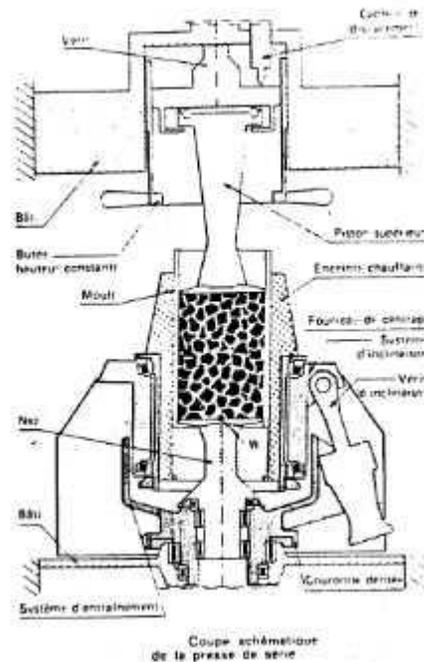


Figure II.7. Mécanisme à l'appareil français des Ponts et Chaussées. [J.C. MOREUX ; 1987]

II.3.1.5. Expression des résultats de PCG :

La variation du pourcentage de vides de l'éprouvette compactée en fonction de l'énergie de compactage [14] est déterminée à l'aide de la formule suivante :

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

Avec :

v(n) : est le pourcentage de vides pour un nombre de girations, ng, exprimé en pour cent (%) ;

v₁ : est le pourcentage de vides calculé pour une giration ;

k : est la compactibilité (pour la méthode utilisant un compacteur giratoire) ;

n : est le nombre de girations.

Calculer les 2 paramètres de l'équation, et K, par la méthode des moindres carrés sur les données expérimentales et pour un nombre de girations supérieur ou

égal à 20 avec une régression linéaire dans laquelle **n** et **v(n)** sont respectivement les variables indépendante et dépendante.

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

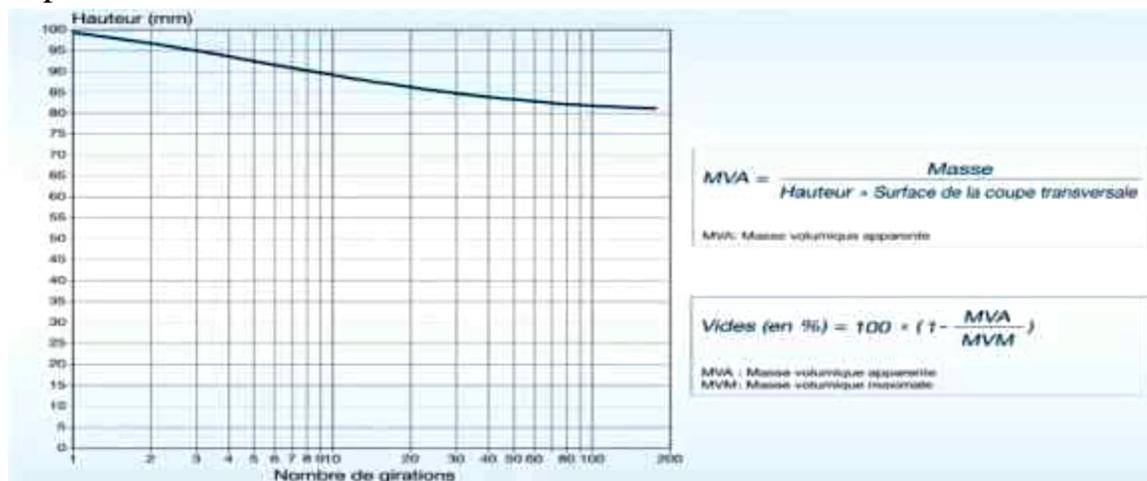


Figure II.8. Présentation des résultats d'essai PCG.

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

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

II.3.1.6. Essai tenue à l'eau (Essai Duriez) :

La tenue à l'eau est habituellement mesurée au moyen de l'essai Duriez dans le cadre de la normalisation d'essai, la compression diamétrale et la française. La normalisation européenne a retenu deux modalités compression simple qui est dérivée de l'essai Duriez.

Ces deux modalités sont censées donner des résultats équivalents, cependant la respectabilité et la reproductibilité de l'essai en compression simple (Essai Duriez) sont pratiquement deux fois meilleures que celles de l'essai en compression diamétrale. [J.L. DELORME et al. ; 2007]

II.3.1.7. Principe d'essai Duriez :

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 (Figure. II.6). [NF P 98-251-1 ; 2002]

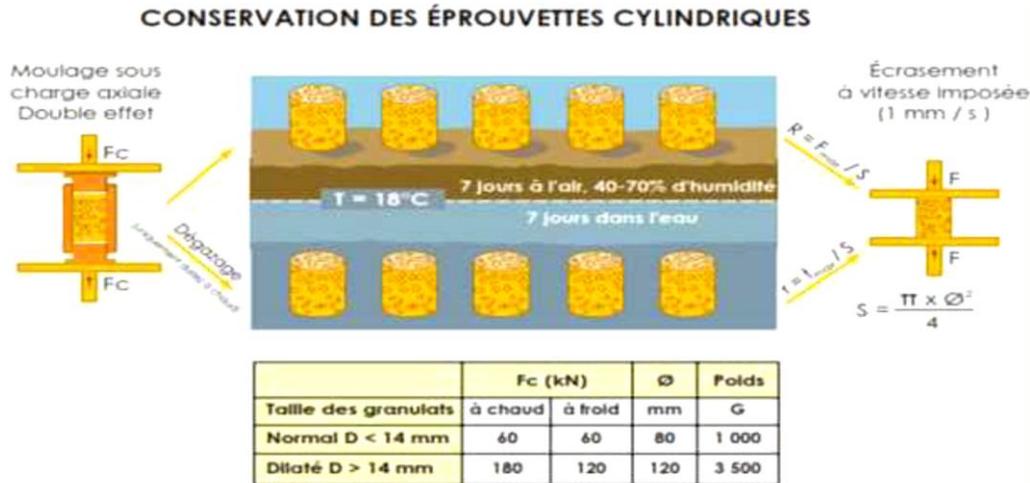


Figure II.9. Principe d'essai La tenue à l'eau.

II.3.1.8. Appareillage :

Les appareillages du l'essai duriez compose deux partie, l'un qu'est les moules et les piste ce derniers varie selon la granulométrie du mélange devra tester (Dmax) (Photo II.3).

- 80 mm par D max <14 mm ;
- 120 mm par D max D ≥ 14 m.



Photo II.3. Moules et pistons.

Une deuxième partie c'est la presse avec une vitesse de 1mm/s qui presse permettant le compactage à double effet (Photo II.4). [NF P 98-251-1 ; 2002]



Photo II.4. Machine de compression.

II.3.1.9. Réalisation d'essai Duriez :

Le mélange hydrocarboné préparé en laboratoire, est placé, dans un moule cylindrique.

- 1 000 g \pm 1 g dans le cas des mélanges hydrocarbonés de $D < 14$ mm ;
- 3 500 g \pm 3,5 g dans le cas des mélanges hydrocarbonés de $D \geq 14$ mm.

Le compactage des éprouvettes doit être réalisé par double effet :

- D'une charge de 60 KN pendant 5 min sur chaque éprouvette pour les mélanges hydrocarbonés de $D < 14$ mm (Photo II.4) ;
- D'une charge de 180 KN pendant 5 min sur chaque éprouvette pour les mélanges hydrocarbonés de $D \geq 14$ mm ;

Les échantillons d'essai doivent être placés après l'enlèvement du moule à 18 ° C pendant une période de 07 jours, de sorte que certains échantillons doivent être de l'eau (100% humidité) tandis que d'autres doivent être des échantillons d'air (50% humidité) (Photo II.5).



Photo II.5. Compactage des éprouvettes

Photo II.6. Conservation des échantillons.

- Extraire les échantillons après 07 jours et appliquer une force de compression à l'effondrement (figure III.14).



Photo II.7. Compression des éprouvettes.

II.3.1.10. Expression des résultats tenue à l'eau :

Les résultats de l'essai sont la résistance à la compression simple à une température de 18 °C, avec ou sans immersion, est le rapport de la charge maximale à la section circulaire des éprouvettes. Il est exprimé en mégapascals et représente la moyenne de quatre ou cinq mesures suivant la dimension D du mélange hydrocarboné soumis à l'essai.

On établit également le rapport de la résistance avec immersion (i) à la résistance sans immersion (C) ; le rapport (i/C) est exprimé avec deux chiffres significatifs. [20]

Un autre paramètre présenté dans les résultats, c'est le pourcentage d'imbibition après un certain nombre de jours, noté *k*.

La formule est la suivante:

$$k = \frac{M_{j+1+k} - M}{M} \times 100$$

- **M** : Masse des éprouvettes après démoulage, exprimée en grammes.
- **M_{J+1+k}** : Masse des éprouvettes après k jours d'immersion dans l'eau, exprimée en grammes.

II.3.2. Niveau 2 :

Ce niveau comporte les essais du niveau 1 (Presse à Cisaillement Giratoire et tenue à l'eau), auxquels on ajoute un essai d'orniérage. [J.L. DELORME et al. ; 2007]

II.3.2.1. Essai d'orniérage :

Le phénomène d'orniérage est une dégradation de la chaussée facilement mesurable et visible en surface, des traces permanentes et creusées dans la chaussée font leur apparition suite aux passages répétés des véhicules lourds (Photo II.8).

Il s'agit d'un des problèmes majeurs de dégradation des chaussées flexibles. Cette section vise dans un premier temps à définir la nature et l'origine des ornières, dans un second temps les trois principaux types d'ornières et dans un troisième temps elle cherche à illustrer le phénomène et le comportement à l'orniérage des matériaux bitumineux. [M. Meunier ; 2012].



Photo II.8. Machine de l'essai d'orniérage.

II.3.2.2. Principe d'essai orniérage :

Le corps d'épreuve est une plaque parallélépipédique de 5 cm ou de 10 cm d'épaisseur, selon que l'épaisseur de mise en œuvre de l'enrobé est inférieure ou supérieure à 5 cm. Cette plaque est soumise au trafic d'une roue équipée d'un pneumatique (fréquence : 1 Hz, charge : 5 kN, pression : 6 bars), dans des conditions sévères de température (60 °C) (Figure II.7). [J.L.DELORME et al. ; 2007]

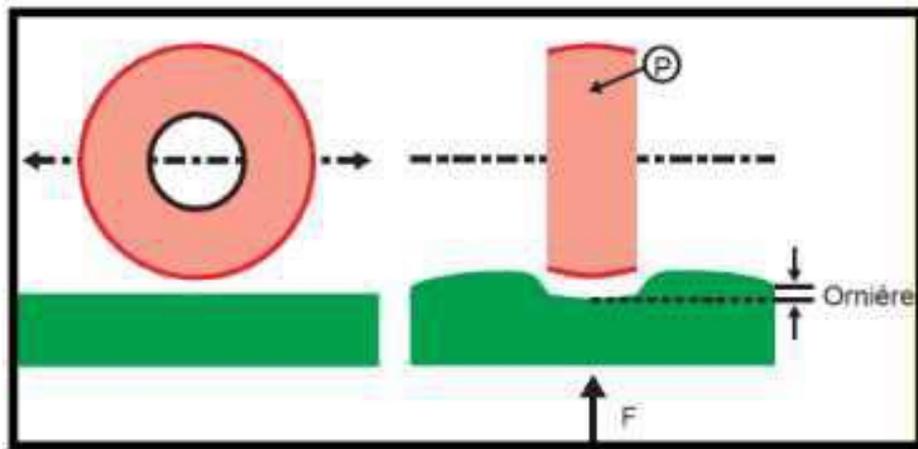


Figure II.10. Principe de l'essai d'orniérage. [CST COLAS ; 2006].

II.3.2.3. Types d'ornières :

Des essais à grandes déformations sur enrobés bitumineux révèlent la présence de déformation permanente irréversible, une déformation viscoplastique d'un point de vue microstructure, la déformation viscoplastique est liée au mouvement (glissement et rotation) des granulats les uns par rapport aux autres et liés entre eux grâce au bitume. [M. Meunier ; 2012]

Le comportement rhéologique du bitume a une grande influence sur le mouvement relatif des granulats.

A basse température, la déformation viscoplastique est de faible amplitude ou pratiquement absente due à la rigidité du bitume. Cependant, lors d'une augmentation de la température, l'effet lubrifiant généré par le bitume devient de plus en plus important et favorise l'accroissement de la déformation viscoplastique de l'enrobé. [Prato et Coll ; 2011]

On considère généralement trois types d'ornières comme le montre a Figure II.8:

- a) L'orniérage de surface, associé à des déformations ou à l'usure dans les traces de roues ;
- b) L'orniérage structural, associé généralement à un affaissement des couches de fondation ou de sous fondation.
- c) La déformation viscoplastique, liée à la densification (compaction) et/ou au cisaillement de l'enrobé bitumineux dans les traces de roues.

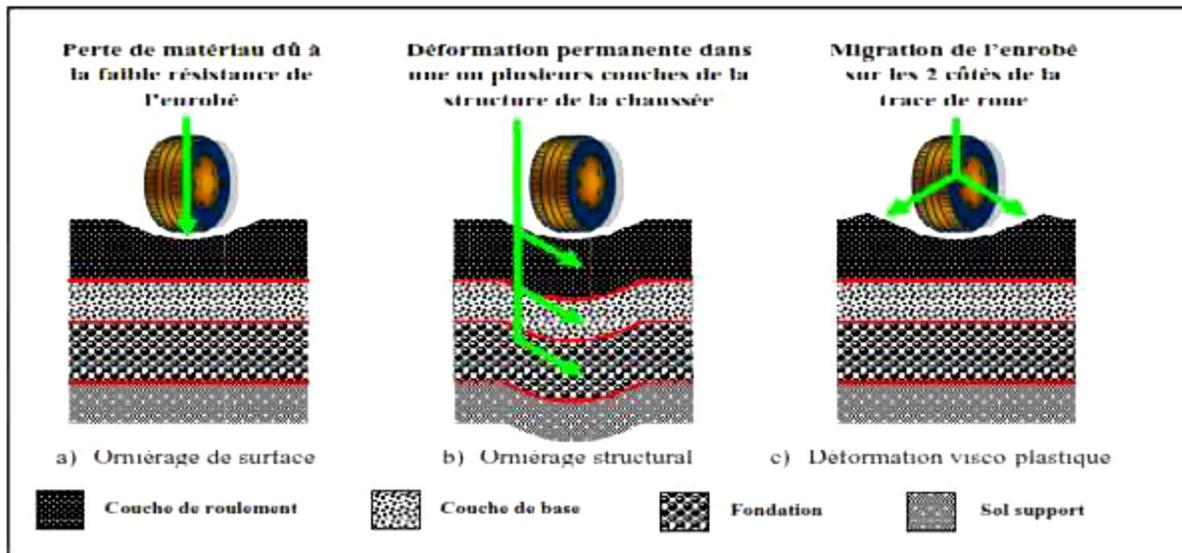


Figure II.11. Lustration des différents types d'orniérage. [M. Meunier ; 2012]

II.3.2.4. Type des ornières :

Dans les matériels de laboratoire, on définit deux types d'orniéreur, suivant de leur dimensions et capacité, qui sont :

❖ Dispositif de grandes dimensions :

Une roue équipée d'un pneumatique sans sculpture 400×8 et ayant une largeur de trace de (80 ± 5) mm.

La pression du pneumatique doit être de (600 ± 30) kPa au début de l'essai et Moules Un ou plusieurs moules de dimensions intérieures $(500 \times 180 \times 50)$ mm³ ou $(500 \times 180 \times 100)$ mm³, à ± 2 mm³ près, capables de résister sans gauchissement aux conditions de l'essai. [NF EN 12697-22 ; 2004]

❖ Dispositif extra-large :

Une roue équipée d'un pneumatique sans sculpture 6.00-R9 et ayant une largeur de trace de (110 ± 5) mm et un ou plusieurs moules de dimensions intérieures (700×500) mm, à ± 5 mm près, capables de résister sans gauchissement aux conditions de l'essai.

La hauteur des moules correspond à l'épaisseur nominale des éprouvettes aux extrémités ou la dépasse au maximum de 20 mm.

Des capteurs laser pour mesurer la déformation locale à $\pm 0,2$ mm près. Les capteurs laser doivent être capables de mesurer la profondeur d'ornière avec un pas maximum de 2 mm et sur au moins 3 profils en travers. [NF EN 12697-22 ; 2004]

II.3.2.5. Réalisation d'essai d'orniérage :

Préparation des moules son fait par un compacteur spécification (Photo II.9) pour prendre de plaque d'enrobes avec un travail de compacité bien dater miner.



Photo II.9. Préparation de plaque sur la table de compactage.

Vérifier que le pneumatique est propre et que les matériaux de l'éprouvette n'adhèrent pas au pneumatique pendant l'essai pour éviter tout chauffage parasite. Maintenir la pression du pneu à (600 ± 30) kPa pendant l'essai, soit par un dispositif approprié, soit par contrôle et réglage à chaque arrêt (Photo II.10).

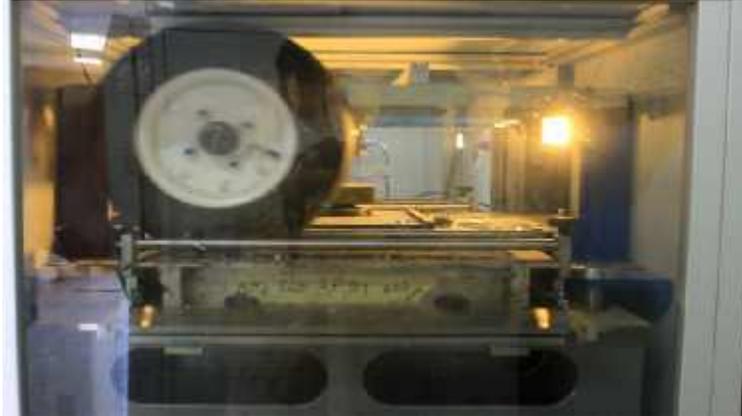


Photo II.10. Ajuster la plaque et l'appareil d'expérimentation l'orniérage.

L'enceinte étant maintenue à une température comprise entre 15 °C et 25 °C , mettre la machine en mouvement jusqu'à ce que l'éprouvette ait subi 1 000 cycles de charge. Pour mesurer le profondeur dernier sous cette charge à des conditions ambiantes. [NF EN 12697-22 ; 2004]

Régler la température de l'enceinte à la température d'essai et contrôler la température de l'air à l'aide de la sonde installée sur la paroi latérale du moule. La température de l'air ne doit pas dépasser 75 °C si la température d'essai est inférieure ou égale à 60 °C , et ne doit pas dépasser de plus de 15 °C la température d'essai si celle-ci est supérieure à 60 °C . L'éprouvette doit être conditionnée à ces températures pendant 12 h à 16 h avant d'être soumise à l'essai. [NF EN 12697-22 ; 2004]

Mettre la machine en mouvement. Arrêter la machine et mesurer la profondeur d'ornière aux 15 emplacements prédéterminés, après que l'éprouvette a subi le nombre de cycles spécifié 1000, 3000, 10000 et 30000 et, le cas échéant, à 30, 100, 300 et 100000 cycles de charge [13] sans compter les cycles de conditionnement.

Maintenir la température au sein de l'éprouvette à la valeur spécifiée à $\pm 2\text{ °C}$ pendant toute la durée de d'essai. L'essai sur cette éprouvette est achevé une fois le nombre requis de cycles de charge atteint ou lorsque la profondeur d'ornière moyen (Photo II.11).



Photo II.11. Échantillon après procédure de l'essai d'orniérage.

II.3.2.6. Expression des résultats d'orniérage :

$$P_i \% = 100 - \sum_{l=1}^{15} \frac{(m_{i,l} - m_{0,l})}{(15 \times h)}$$

P_i : est le pourcentage de profondeur d'ornière mesurée (%),

$m_{i,j}$: est la déformation locale, en millimètres (mm),

$m_{0,j}$: est la mesure initiale à l'emplacement j,

h : est l'épaisseur de l'éprouvette, en millimètres (mm).

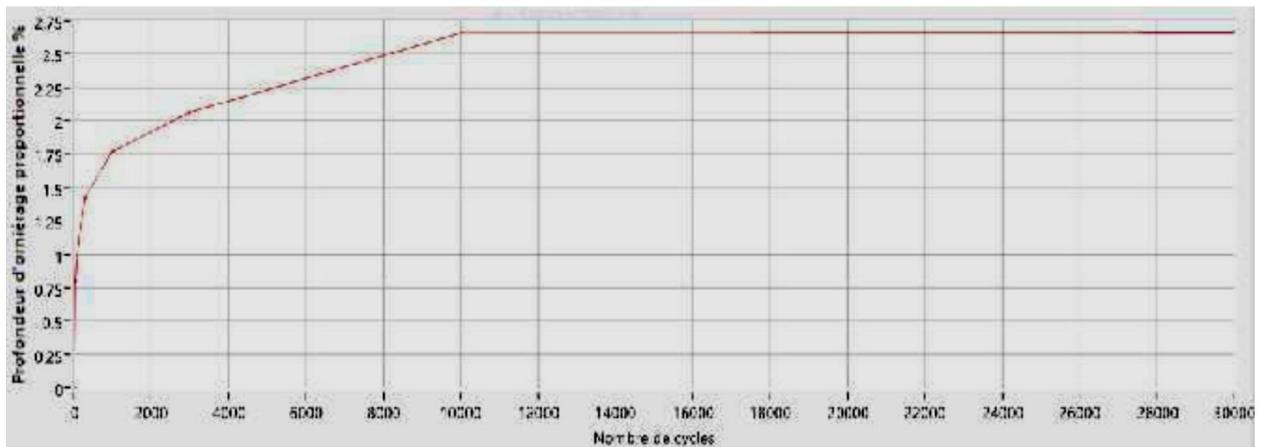


Figure II.12. Profondeur d'ornière proportionnelle / nombre de cycles.

II.3.3. Niveau 3 :

Ce niveau comporte les essais Presse à Cisaillement Giratoire et de tenue à l'eau du niveau 1, l'essai d'orniérage du niveau 2 et la caractérisation du module du mélange. L'essai de module est spécifié dans le cas de chantiers importants et

lorsque la couche concernée intervient dans le fonctionnement structurel de la chaussée.

Ce niveau implique que le produit est considéré appartenir à l'approche Fondamentale au sens des normes EN. Les valeurs de module à 15°C, 10 Hz ou 0,02s sont directement utilisées dans les modèles de calcul de dimensionnement. Par définition dans les normes produites, les épreuves de formulation des EB-GB classe 4, EB-BBME et des EB-EME doivent obligatoirement comprendre un essai de module. Pour les autres produits qui peuvent appartenir à l'approche empirique ou fondamentale, la détermination du module doit être mentionnée. Pour certaines applications, des valeurs maximales peuvent être prescrites. [J.L.DELORME et al. ; 2007]



Photo II.12. Machine de flexion deux points.

II.3.3.1. Définition du module complexe :

La mesure du module complexe, E^* , est réalisée pour des sollicitations sinusoïdales de fréquences variées, dans le domaine des petites déformations. Dans ces conditions l'enrobé se comporte principalement de façon viscoélastique linéaire, si bien que la réponse du matériau à la sollicitation sinusoïdale est sinusoïdale. [Mandel, 1955]

L'écriture complexe associée à ce type d'essai simplifie l'écriture de la loi de comportement viscoélastique linéaire, qui devient alors semblable à une loi de

comportement en élasticité. Considérons une sollicitation du type contrainte imposée de pulsation ω :

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t)$$

Dans la théorie d'un comportement viscoélastique linéaire la réponse en déformation est alors :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(t - \varphi)$$

Où φ est le déphasage de retard de la déformation sur la contrainte.

Le passage par une écriture complexe permet alors d'utiliser une écriture simple entre la contrainte et la déformation uni axiales et de définir le module complexe E^* de la façon suivante :

$$E^* = \sigma^* / \varepsilon^* = \sigma_0 \cdot e^{i\omega t} / \varepsilon_0 \cdot e^{i(\omega t - \varphi)} = \sigma_0 / \varepsilon_0 \cdot e^{i\varphi} = |E^*| \cdot e^{i\varphi}$$

$|E^*|$ est appelé **module de rigidité**.

φ est appelé angle de déphasage du matériau (il permet l'estimation de l'énergie dissipée dans la matière).

L'analyse du module complexe se fait aussi au travers de l'analyse de sa partie réelle et de sa partie imaginaire et de sa partie imaginaire :

$$E^* = E_1 + iE_2$$

Où E_1 est appelé module d'élasticité dynamique et E_2 est appelé module de perte.

[Y.LEFEUVRE ,2001]

Des corps d'épreuve d'une forme adaptée sont soumis à déformation dans le domaine linéaire, par des chargements Répétés ou à des vitesses de déformation contrôlées. Les amplitudes de contrainte et de déformation sont mesurées, simultanément avec le déphasage entre la contrainte et la déformation.

[J.L.DELORME et al. ; 2007]

Le Figure II.10. Regroupe les différents essais existants avec leur schéma de principe, leurs facteurs de forme et de masse le cas échéant, et les principales références bibliographiques associées. Les références indiquées peuvent concerner à la fois la description faite par les auteurs du principe de l'essai et les résultats obtenus avec le type d'essai cité.

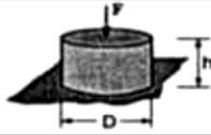
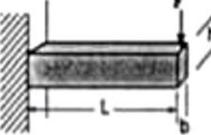
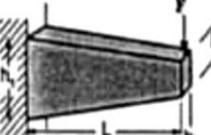
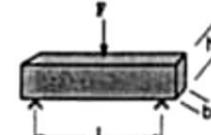
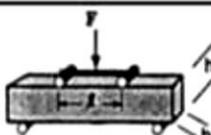
	Schéma de principe	Facteur de forme $\gamma(l)$	Facteur de masse	Références
traction compression (avec ou sans confinement)		$\frac{h}{\pi D^2}$	-	[Charif, 1991] [Doubbaneh, 1995]
Flexion 2 points		$\frac{4 L^3}{b h^3}$	$\frac{M}{4} + m$	[Francken et al, 1994]
		$\frac{12 L^3}{9(h_1 - h_2)^2} \left[2 \frac{h_1}{h_2} \left(\frac{h_1}{h_2} - 1 \right) - \frac{h_1}{h_2} \right]$	$0,135M + m$	[Huet, 1963] [Chauvin, 1990]
Flexion 3 points		$\frac{24 L^3}{\pi^4 b h^3}$	$0,5 M + m$	[Myre, 1992]
Flexion 4 points		$\frac{2 L^3 - 3L l^2 + l^3}{8 b h^3}$	$0,5M + m$	[Pronk, 1996]

Figure II.13. Récapitulatif des principaux essais de module complexe existant sur enrobés. [De La Roche,1996]

II.3.3.2. Essai de flexion en deux points sur des éprouvettes trapézoïdales :

- Principe :

Cette partie décrit une méthode de mesure du module de rigidité des mélanges hydrocarbonés au moyen d'un essai de flexion en tête sur une éprouvette console. Un four sinusoïdal, $F = F_0 \times \sin(\omega \times t)$, ou une déflexion sinusoïdale, $Z = Z_0 \times \sin(\omega \times t)$, est appliquée en tête d'une éprouvette collée à sa base à un support fixé sur un châssis rigide. Il est recommandé que la force, F_0 , ou la déflexion, Z_0 , soit telle quelle provoque une déformation $\epsilon \leq 50 \times 10^{-6}$ mm dans la partie soumise à la contrainte la plus forte et dans un domaine supposé linéaire pour le mélange hydrocarboné. Le module complexe est calculé à des températures et à des fréquences variées en fonction de F_0 , Z_0 et l'angle de phase, φ . [NF EN 12697-26 ; 2004]

- Appareillage :

Machine d'essai permettant d'appliquer une déflexion dynamique sinusoïdale à la partie supérieure de l'éprouvette, au moins avec une étendue de fréquences comprise entre 3 Hz et 30 Hz. Photo II.13.



Photo II.13. Vérification de l'encastrement.

Et pour réaliser des murs l'appareille compose de :

- Capteurs : capables de mesurer la force en dynamique entre 0,1 N et 100 N avec une exactitude de 0,5 N jusqu'à 10 N et $\pm 5 \%$;
- Capteurs : capables de mesurer la flèche jusqu'à 0,2 mm à une exactitude de $1\mu\text{m}$;
- Appareil de mesure de l'angle de déphasage à une exactitude de $\pm 1^\circ$.

II.3.3.3. Réalisation d'essai deux points :

Une préparation des plaques avec les dimensions $600 \times 400 \times 10$ mm³, par un compacteur a roue suivant la norme EN 12697 – 33, soit par profile de compactage légers (1 bar, 3 bars) ou lourds (1 bar, 6 bars) (Figure II.11), puis en coupant la plaque après refroidissement à des éprouvettes d'une forme trapézoïdale dans les étapes montre la (Photo II.14.)



Photo II.14. Compactage des plaques.

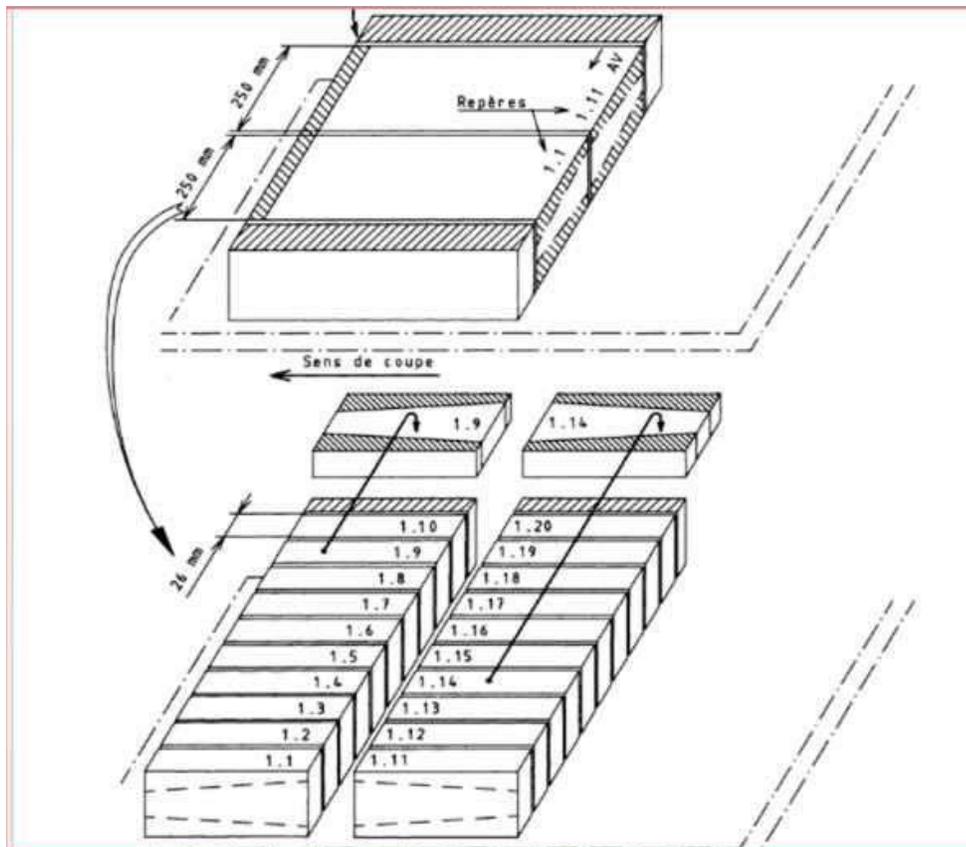


Figure. II.14. Les étapes de l'acquisition trapézoïdale.

L'éprouvette doit être soumise par une force sinusoïdale appliquée en tête pendant une durée minimale de 30 s et une durée maximale de 2 min à une flèche imposée correspondant à une déformation, ε , inférieure à 50 microdéformations.

La force, F_0 , la déflexion, Z , et l'angle de phase, φ , doivent être mesurés au cours des 10 dernières secondes de l'essai.

Le module complexe doit être déterminé avec au minimum 4 températures séparées au maximum de 10 °C, et pour chaque température à au moins 3 fréquences espacées de manière égale sur une échelle logarithmique, avec un rapport minimal de 10 entre les fréquences extrêmes. [NF EN 12697-26 ; 2004]

II.3.3.4. Expression des résultats d'essai module :

Les différentes composantes du module complexe varient avec la température et la fréquence de sollicitation, fixées pour chaque essai élémentaire. Les résultats expérimentaux $|E^*|$, φ , E_1 , E_2 , sont usuellement exprimés à l'aide des représentations classiques décrites dans ce qui suit :

a) Courbes isothermes :

Elles sont obtenues en traçant le module du module complexe $|E^*|$ en fonction de la fréquence pour chacune des températures d'essais T , généralement en coordonnées bi logarithmiques- (figure II.). [Y.LEFEUVRE ,2001]

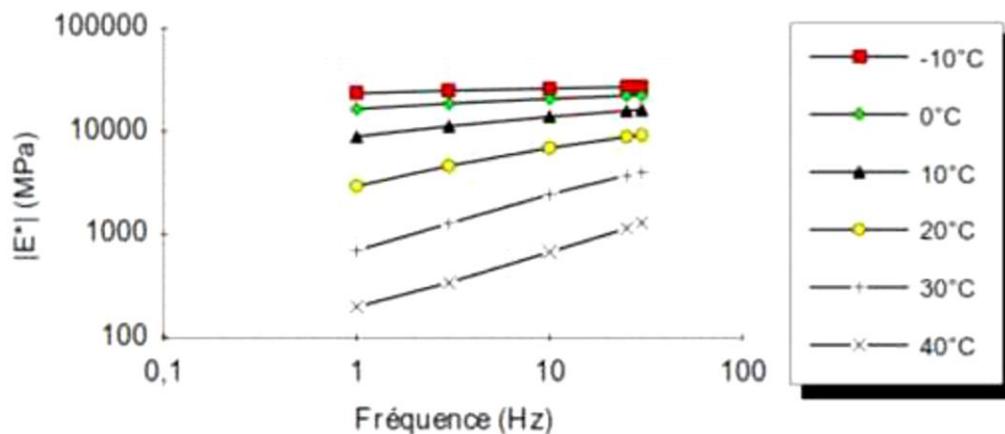


Figure II.15. Isothermes du module complexe. [De La Roche,1996]

Outre les valeurs de module directement utilisables pour les calculs de dimensionnement, la pente des isothermes permet d'estimer la susceptibilité cinétique du matériau bitumineux (c'est-à-dire la variation de module avec la vitesse de la sollicitation). [Y.LEFEUVRE ,2001]

b) Courbes isochrones :

Il s'agit du même type de représentation que précédemment toujours exprimée en coordonnées semi logarithmiques en inversant les paramètres fréquence et température (figure II.13).

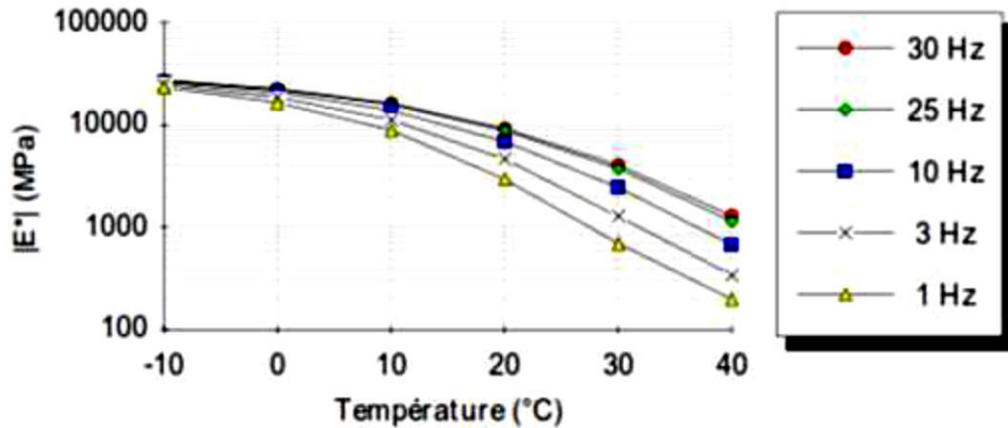


Figure II.16. Isochrones du module complexe. [De La Roche,1996]

A l'instar des courbes isothermes, cette représentation permet cette fois d'estimer la susceptibilité thermique de l'enrober bitumineux (variation du module pour une variation de température). [Y.LEFEUVRE ,2001]

II.3.4. Niveau 4 :

Ce niveau comporte les essais Presse à Cisaillement Giratoire et tenue à l'eau du niveau 1, l'essai d'orniérage du niveau 2, la caractérisation du module du mélange du niveau 3. Il est complété par la détermination de la résistance en fatigue.

L'essai de fatigue est à spécifier dans le cas de chantiers très importants et dès que la couche concernée travaille en fatigue. [J.L. DELORME et al. ; 2007]

II.3.4.1. Essai de fatigue :

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

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

La durée de vie N_f d'une éprouvette est donc le nombre de cycles correspondant à un module de rigidité égal à la moitié du module initial de cette même éprouvette (figure II.14). [M. AFECHKAR,]

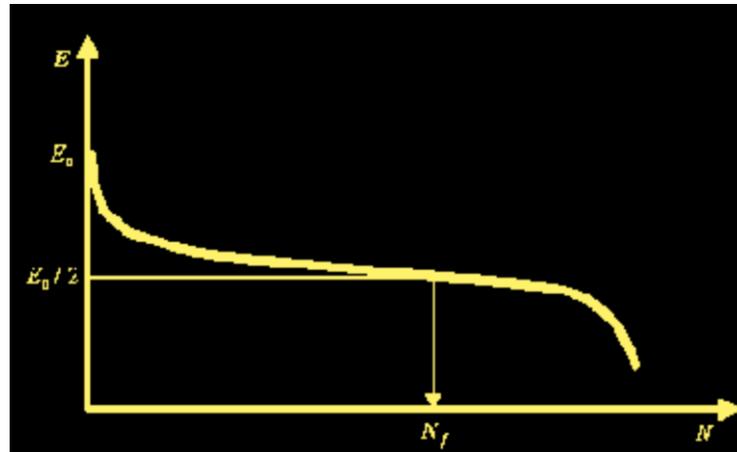


Figure II.17. Définition du critère classique de fatigue et détermination de la durée de vie N_f .

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

- Principe :

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

Après modélisation de la charge appliquée, les calculs des déformations et contraintes dans ces modèles multicouches sont effectués à l'aide du modèle de Brumisateur [M.L. NGUYEN, 2009].

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

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

II.3.4.2. Types d'essai de fatigue :

II.3.4.2.1. Essai de flexion 2 points :

C'est le type d'essai de fatigue normalisé en France (NF P 98 – 261 – 1). Il est utilisé pour le dimensionnement des chaussées en France. Et comme tous les essais de flexion, il s'agit d'un essai non homogène.

L'éprouvette trapézoïdale est encastrée à sa grande base et sollicitée à son sommet. Les Sollicitations peuvent être exercées en force ou en déplacement.

La forme trapézoïdale de l'éprouvette est choisie pour obtenir une déformation maximale en dehors de la zone d'encastrement de l'échantillon sollicité en poutre console. La rupture s'effectue généralement au voisinage de 1/5 de la hauteur totale (h) de l'éprouvette.



Photo II.15. Essai de flexion 2 points sur éprouvette trapézoïdale.

II.3.4.2.2. Essai de flexion 4 points :

Cet essai est largement utilisé aux Etats Unis. Il a été choisi suite au programme SHRP pour l'étude de la fatigue des enrobés bitumineux. Cet essai a été conçu pour éviter la concentration des dommages au centre de la poutre observée lors de l'essai de flexion trois points.

La sollicitation est exercée sur deux points symétriques, partageant l'éprouvette en trois travées. La zone de sollicitation maximale s'étend sur la zone entre les points de chargement. L'avantage de l'appareil présenté dans la Figure II.16 est qu'il permet d'appliquer des efforts de compression ou de traction. [M.L. NGUYEN, 2009]

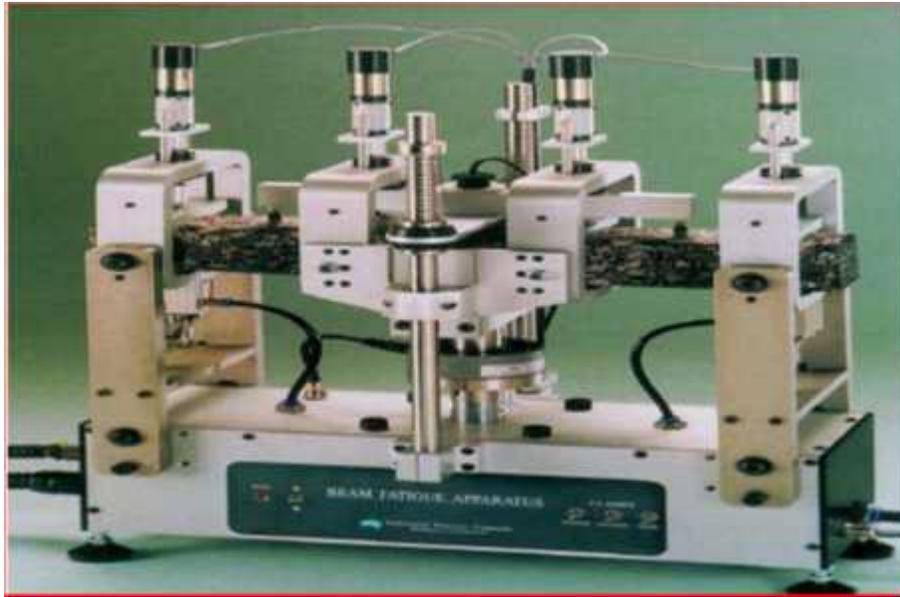


Photo II.16. Appareil d'essai de flexion 4 points. [H. BAAJ ; 2000]

II.3.4.3. Réalisation d'essai fatigue :

L'essai doit au moins s'étendre sur une plage de niveau de déformation d'environ $100 \mu\epsilon$ à $400 \mu\epsilon$.

Les éprouvettes doivent être soumises à essai à trois niveaux de contrainte avec au moins trois éprouvettes à chaque niveau, à une température de 10°C et à la petite base de l'éprouvette est appliqué un signal de déplacement sinusoïdal à une fréquence de 25 Hz souvent (Figure II.18). Le déplacement moyen sur une période est nul. [M. AFECHKAR,]

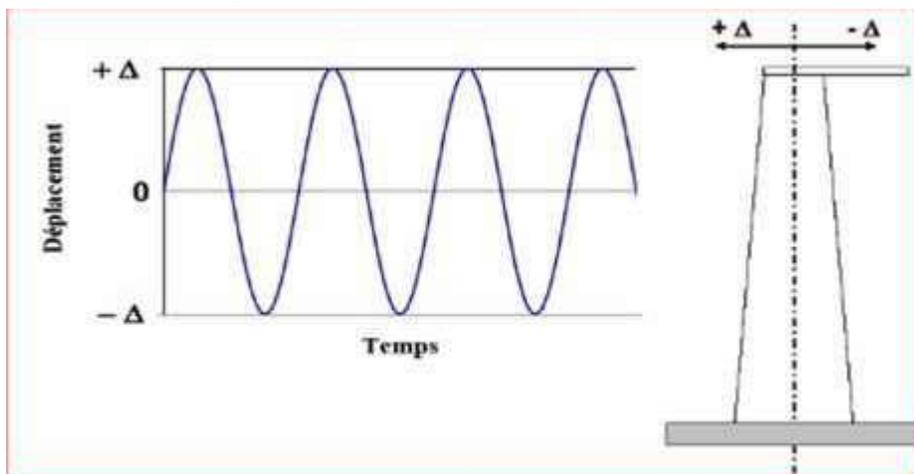


Figure II.18. Signal de déplacement symétrique imposé à la petite base de l'éprouvette. [M. AFECHKAR,]

II.3.4.4. Expression des résultats d'essai fatigue :

L'essai classique, permettant de caractériser le phénomène de fatigue consiste à soumettre une éprouvette de matériau à des sollicitations répétées et à noter le nombre de cycles entraînant la rupture de l'éprouvette, appelé « durée de vie ».

La représentation classique des résultats de l'essai de fatigue est la courbe de fatigue ou courbe de Wöhler (Figure II.19). Cette courbe fait correspondre une durée de vie à la sollicitation exercée, qui peut être une contrainte ou une déformation imposée. [M.L. NGUYEN, 2009]

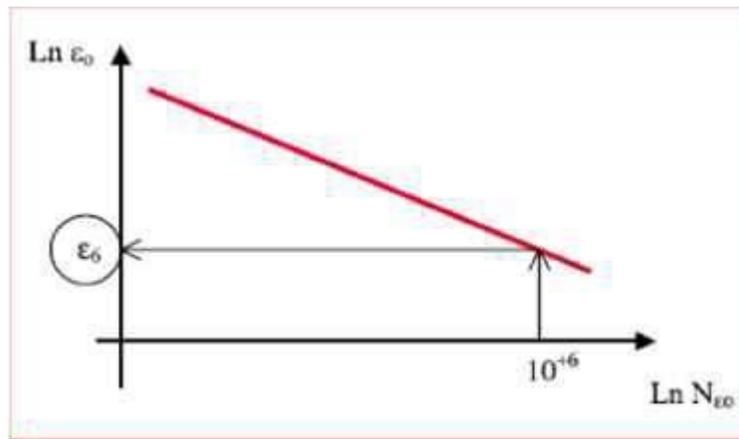


Figure II.19. Courbe de Wöhler. [M.L. NGUYEN, 2009]

Cette courbe est habituellement caractérisée par l'une ou l'autre des relations suivantes :

- $S = a.N^{-b}$: la courbe est alors une droite en coordonnées logarithmique
- $S = \alpha - \beta.\log(N)$: la courbe est alors une droite en repère semi-logarithmique.

Avec :

- S : la sollicitation imposée (contrainte ou déformation imposée).
- N : la durée de vie correspondante.
- (a, b) et (α, β) : les constantes de la relation.

II.4 CONCLUSION :

L'étude de formulation d'enrobé à (04) niveaux, nous permet d'évaluer l'ensemble des performances d'un enrobé bitumineux pour nous permettre de se prononcer sur la qualité d'enrobé et sa durabilité.

CHAPITRE III
CARACTÉRISATION DES
MATÉRIAUX

CHAPITRE III : CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

III.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les matériaux utilisés dans le cadre de cette étude, et de déterminer leurs caractéristiques physico-mécaniques et chimiques pour formuler les bétons bitumineux à module élevé. Donc dans ce chapitre, nous allons exposer les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition de l'enrobé, à savoir :

- Sable de classe 0/3 de la carrière ETTR moulay lahcan, W.Tamnrasset.
- Gravier de classe 3/8 de la carrière ETTR moulay lahcan, W.Tamnrasset.
- Gravier de classe 8/15 de la carrière ETTR moulay lahcan, W.Tamnrasset.
- Liant bitumineux pur de classe 40/50 de l'entreprise NAFTAL de Ghardaia.

III.2. CARACTERISTIQUES DE MATERIAUX :

III.2.1. Gravier :

Les échantillons des deux classes de gravier 3/8 et 8/15 et 15/25 de carrière de ETTRMOULAY LAHCAN, ont été soumis aux essais et analyses au laboratoire pour déterminer leurs caractéristiques physiques et mécaniques.

a) Analyse granulométrie [NF P 18-560] :

L'analyse granulométrique effectuée sur les deux classes de gravier a permis d'obtenir les courbes suivantes :

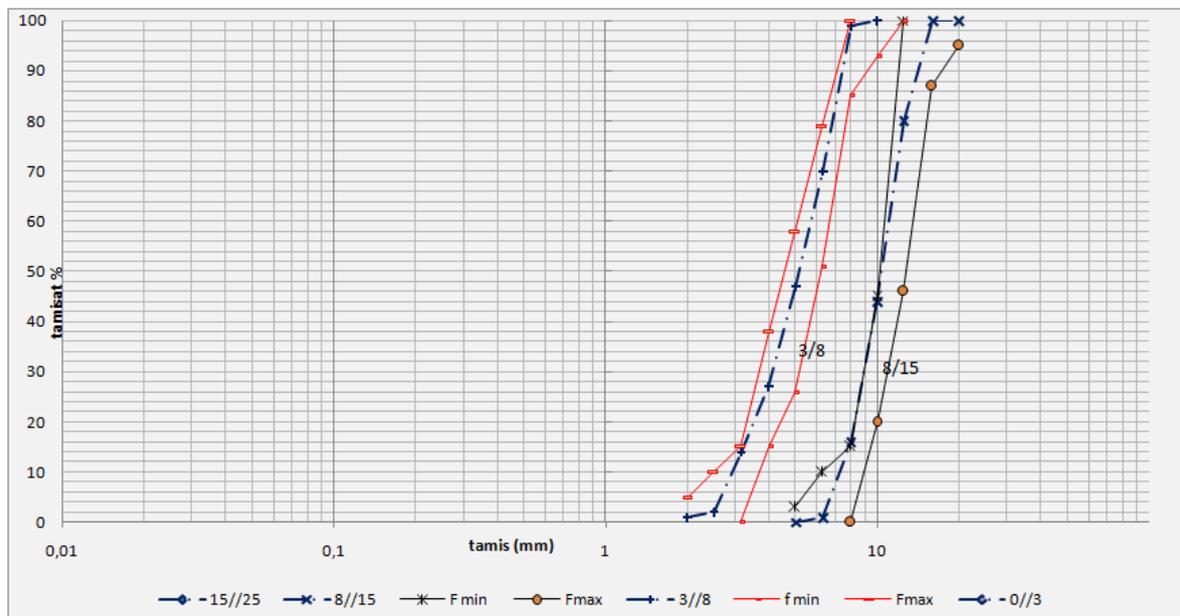


Figure. III.1. Le courbe granulométrique des graviers.



Photo III.1. Photo reprise « Analyse granulométrie ».

b) Masses Volumiques absolues :

La masse volumique absolue ρ est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Les résultats résumés dans le tableau ci-après.

Tableau. III.1. Résultat d'essai masses volumiques absolues de graviers.

Classe des graviers (d/D)	3/8	8/15
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.66	2.63

c) Essai Micro Deval en présence d'eau / MDE (NF P 18 – 572) :

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

L'essai consiste à introduire des granulats dans le cylindre de la machine MDE, avec de l'eau et des billes de taille normalisée équivalente à celle des gravillons. Lors de la rotation du cylindre, les gravillons frottent sur les billes. La masse des éléments inférieurs à 1,6mm à la fin de l'essai donne la résistance à l'usure du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant à l'usure. Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

CHAPITRE III : CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

Tableau. III.2. Résultat d'essai Micro-Deval.

Classe des graviers (d/D)	3/8	8/15	Spécification
MDE(%)	16	12	$\leq 20 \%$



Photo III.2. Photo reprise « Micro-Deval ».

d) Essai de Los Angeles (NF P 18 – 573) :

L'essai LOS ANGELES est destiné à évaluer la résistance des granulats à la fragmentation et aux chocs. Pour tester la dureté d'un matériau, on le soumet à une épreuve de chocs dans un tambour. Les essais sont effectués sur la classe de référence 10 / 14 et les valeurs sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau. III.3 : Résultat d'essai Los Angeles.

Classe des graviers (d/D)	3/8	8/15	Spécification
LA(%)	21	20	$\leq 20 \%$

Les résultats d'essai Los Angeles sont au-dessus aux spécifications.



Photo III.3. Photo reprise « Los Angeles ».

e) Essai d'Aplatissement (NF 18 – 561) :

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

Tableau. III.4 : Résultats d'aplatissement des graviers.

Classe des graviers	3/8	8/15	Spécification
Essai d'aplatissement	19	22	$\leq 20 \%$

La valeur de coefficient d'Aplatissement pour la classe 3/8 est supérieure à la valeur recommandée par les spécifications.

f) Essai de propreté :

Tableau.III.5 : Résultats de propreté des graviers.

Classe des graviers (d/D)	3/8	8/15	Spécification
propreté (%)	0.82	0.25	$\leq 1 \%$

Pour l'essai de propreté les résultats sont conformes.

III.2.2. Sable :

a) Analyse granulométrie [NF P 18-560] :

Présentation les résultats par une courbe granulométrique de sable 0/3 :

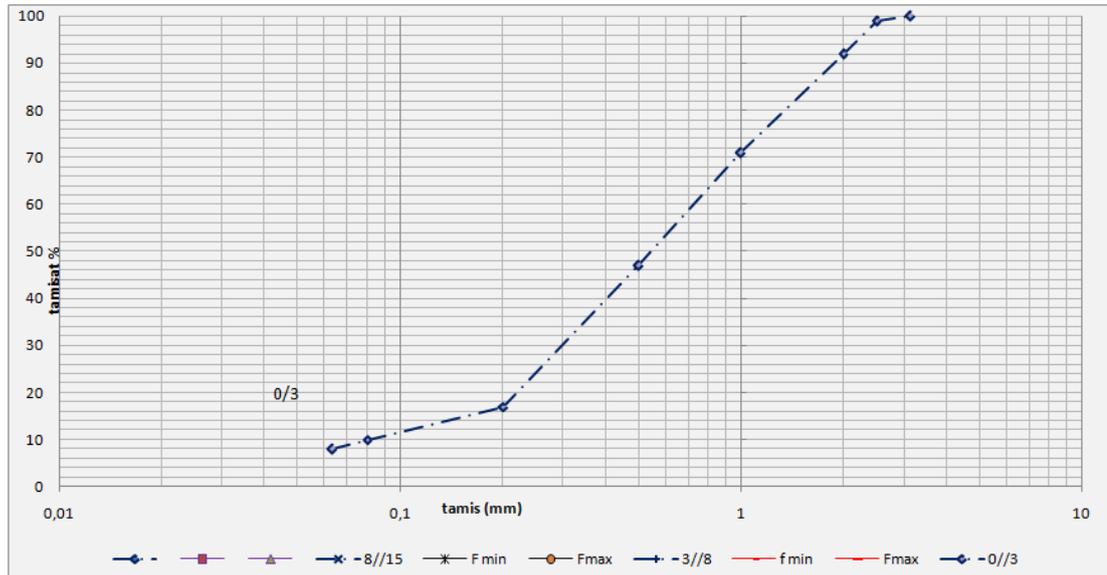


Figure. III.2 : Le courbe granulométrique de sable.

b) Masses Volumiques absolues :

Résultats de sable 0/3 dans le tableau suivant :

Tableau. III.6 : Résultat d'essai masses volumiques absolues de sable 0/3.

Classe des Sable (d/D)	0/3
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.68

c) Essai D'équivalent De Sable à 10% De Fines (NF P 18 – 597) :

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

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout au bout de 20 minutes on mesure les éléments suivants :

- **Hauteur h1** : sable propre + éléments fine (floculant).
- **Hauteur h2** : sable propre seulement.

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

$$ES = 100. H2 / H1$$



Figure. III.3 : Principe d'essai d'équivalent de sable.

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III.7 : Résultats d'équivalent de sable.

Sable	0/3	Spécification
ES (à 10% Fines)	66	ES ≥ 45%

III.2.3. Liant hydrocarboné :

Le liant hydrocarboné utilisé dans cette étude provient de l'unité de l'entreprise NAFTAL de Ghardaïa. On a procédé à la détermination de la classe du liant à partir des essais de caractérisation. Il s'agit des essais de pénétrabilité à l'aiguille à 25°C (NF EN 1426) et d'essai de point de ramollissement ou comme s'appelle la température bille et anneau (NF EN 1427) et densité relative (NA 5224).

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

Tableau. III.8 : Caractérisations du liant.

Essai	Résultats	Spécification
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)	43.1	40 à 50
Point de ramollissement (°C)	54	47 à 60
Densité relative à 25°C	1.041	1.0 à 1.10

À partir des essais de caractérisation effectués on peut dire que notre liant correspond à un bitume pur de classe 40/50.

CHAPITRE III : CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

I.3. Conclusion :

Les matériaux de qualité l'un des facteurs les plus importants qui assurent la durabilité des routes, qui est principalement liés aux caractéristiques de chaque matériau et qui nécessite l'approbation par rapport aux normes. Pour déterminer les propriétés et les caractéristiques d'un matériau il faut faire quelques essais par type de matériau, que ce soit en laboratoire ou sur le terrain et ensuite faire la comparaison des résultats obtenus par rapport aux valeurs recommandées par les normes, pour se prononcer sur la qualité de la construction.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET COMMENTAIRES

IV.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on présente le fruit de notre ce travail. On comparer entre les différentes méthodes de compactage de l'essai sensibilité à L'eau.

IV.2. ETUDE DE FORMULATION :

IV.2.1. Composition granulaire :

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

À partir des courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies pour la réalisation de l'étude de formulation, on compose un mélange minéral dont la courbe granulométrique est inscrite dans les limites du fuseau défini par les spécifications (Figure IV.1).

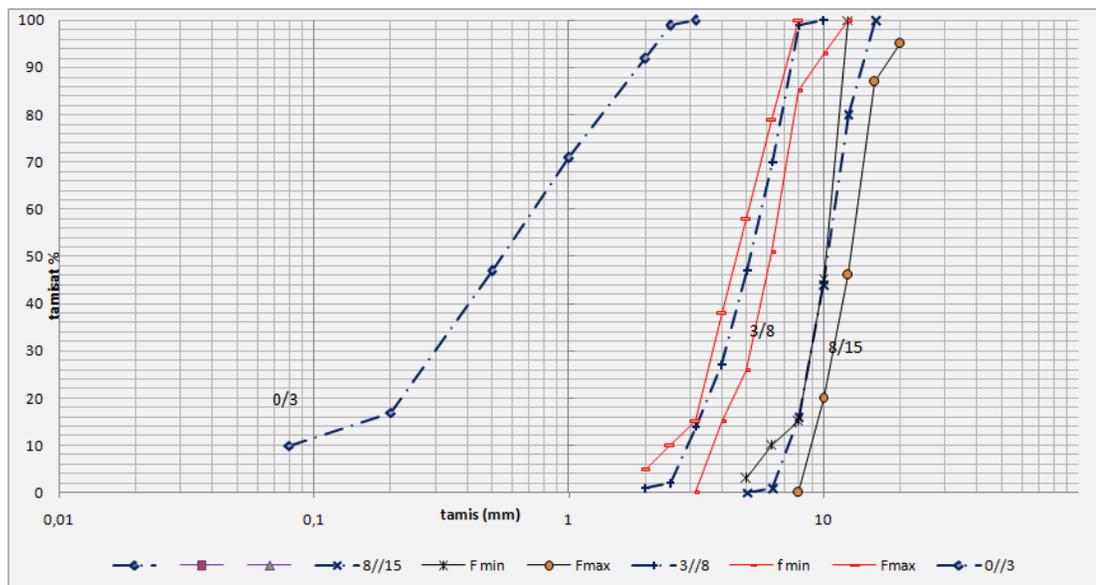


Figure IV.1 Disposition des courbes granulométriques des constituants par rapport la courbe médiane de fuseau.

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

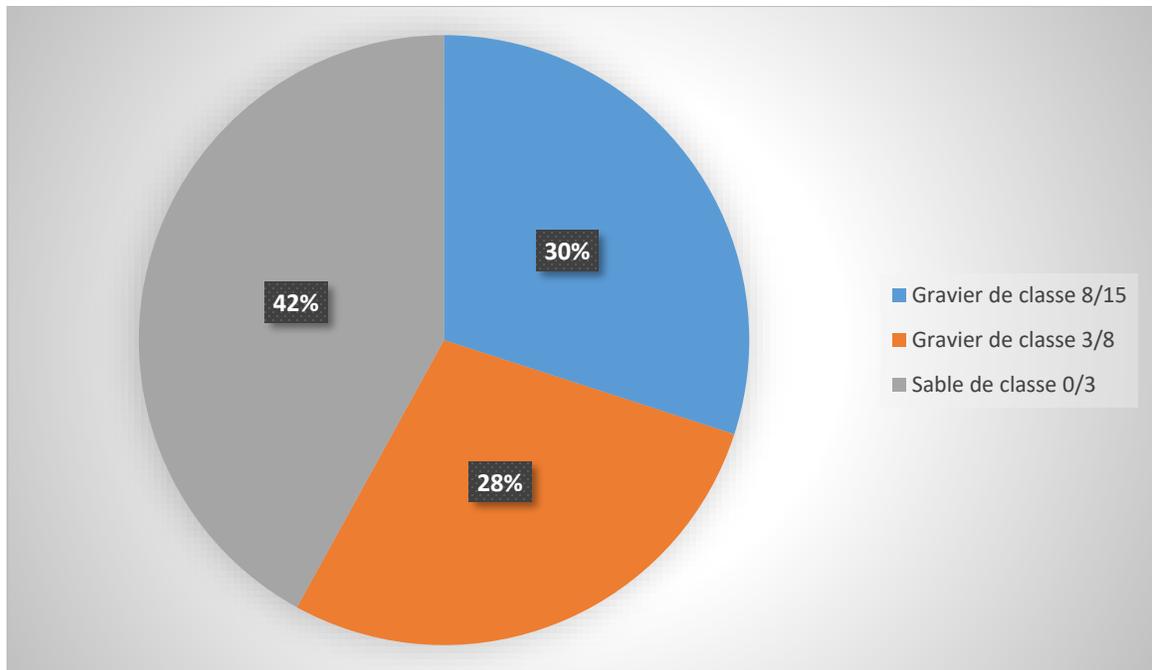


Figure IV.2. La composition proposée.

La composition proposée est choisie comparativement au fuseau de référence, et ce dernier exprime graphiquement dans la figure suivante :

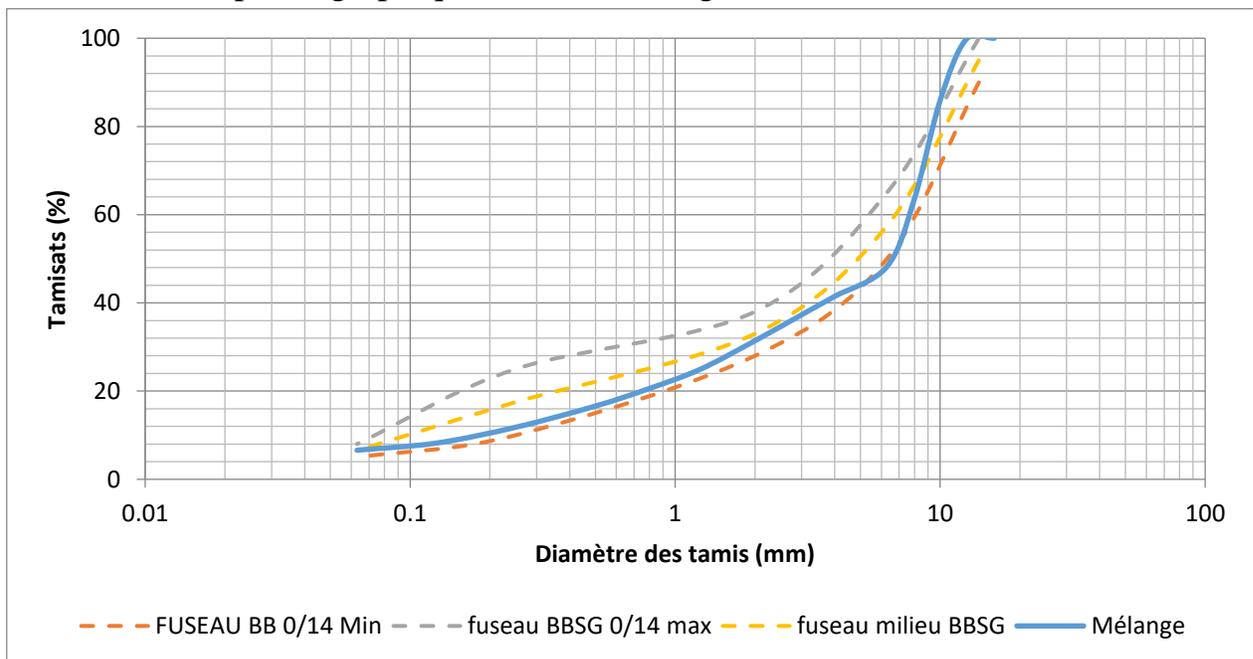


Figure IV.3. Courbe de mélange.

IV.3. Dispositif expérimentale :

Pour comparer les méthodes de compactage mentionnées dans la norme, on a fabriqué 8 éprouvettes pour chaque méthode selon la norme NF EN 12697-12, Méthode de Compression (B). Les éprouvettes de chaque méthode divisée en 2 lots, lot sec conservé à 18 °C, 50 % humidité dans une chambre climatique (Photo IV.1).



Photo IV.1. Photo reprise d'la chambre climatique.

Et lot humide dans un bain d'eau à 18 °C par immersion (Photo IV.2),



Photo IV.2. Photo reprise d'la bain d'eau.

Les méthodes utilisées sont :

- ❖ **Méthode Statique** : la méthode est réalisée par une presse statique, destiné pour écrasement, peut utiliser pour confectionner les éprouvettes d'essai par l'application d'une force stable de 60 kN pendant 300 sec ; c'est condition sont maitriser par un logiciel préinstaller dans un PC connecter avec la presse (Photo IV.3).



Photo IV.3. Photo reprise « Presse Statique 250 kN ».

- ❖ **Méthode par Impact (Dame Marshall) :** cette méthode utilise un autre système de compactage, l'outil utilisé c'est une dame mécanique automatique s'appelle « Dame Marshall » réponds à la spécification de la norme NF EN 12697 – 30 (Photo IV.4), le compactage fait par l'impact de chute d'un marteau de 4535 g depuis une hauteur 457 mm sur l'éprouvette, le nombre total des coups réalisés c'est 35 coups par face.



Photo IV.4. Photo reprise « Dame Marshall ».

IV.4. Résultat :

Dans cette partie on présente et discute les résultats trouvés de chaque méthode :

IV.4.1. Méthode statique :

Les résultats de la méthode statique sont présents dans le tableau IV.1.

Tableau. IV.1. Résultat de Méthode statique.

Éprouvette N°	Lot Humide				Lot Sec			
	01	02	03	04	01	02	03	04
Masse (g)	1002.6	1002.3	1000.8	999.8	1001.5	1002.9	1001	934.2
Moy. Diamètre (mm)	80.25	80.19	80.52	80.09	80.29	80.41	80.06	80.15
Moy. Hauteur (mm)	86.43	88.34	87.8	88.4	88.44	89.29	89.09	83.73
MVA (g/cm ³)	2.29	2.25	2.25	2.25	2.24	2.22	2.23	2.21
Résistance à la compression (kPa)	11023.4	7723.6	10303.9	8406.9	10006.8	8196.4	8704.9	9401.9
Résistance à la compression moyenne	Lot Humide (C_w) = 9364.5 kPa				Lot Sec (C_D) = 9077.5 kPa			
Rapport d'immersion	$i/C = 100 \times C_w/C_D = 103.16 \%$				U= ± _____ %			

Dans un point de vue superficiel un peu, on note que les résultats trouvés dans cette méthode, répondent aux spécifications européennes et algériennes avec une résistance de lot sec (air) plus de 7000 kPa et sensibilité à l'eau i/C plus de 80%.

Dans cette méthode on note une remarque importante, d'où l'impact de l'eau qui doit être négative sur les enrobés et la mesure de cet impact c'est le but de l'eau, ce n'est pas le cas dans cette méthode, les valeurs des éprouvettes de lot humide sont plus résistantes comparativement de l'air.

Ce phénomène généralement présent dans le cas des ciments ou des liants hydrauliques qui prend quand il contacte avec l'eau. Et ce n'est pas le cas.

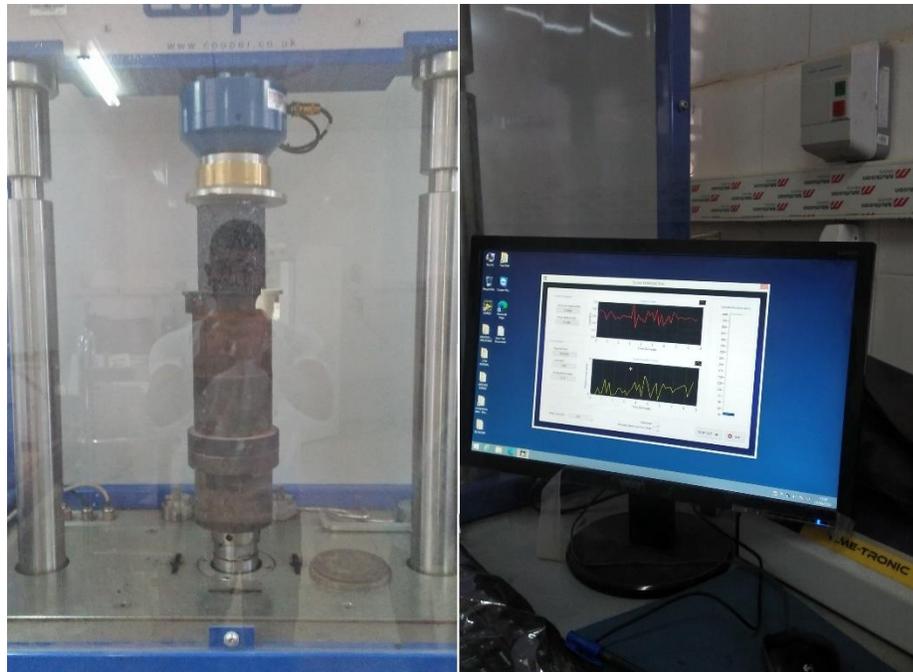


Photo IV.5. Écrasement les éprouvettes de la méthode statique.

Ce dernier prendre nous a discuter plus le détail des valeurs de chaque éprouvette, les valeurs mentionnés dans la figure IV.4 suivantes :

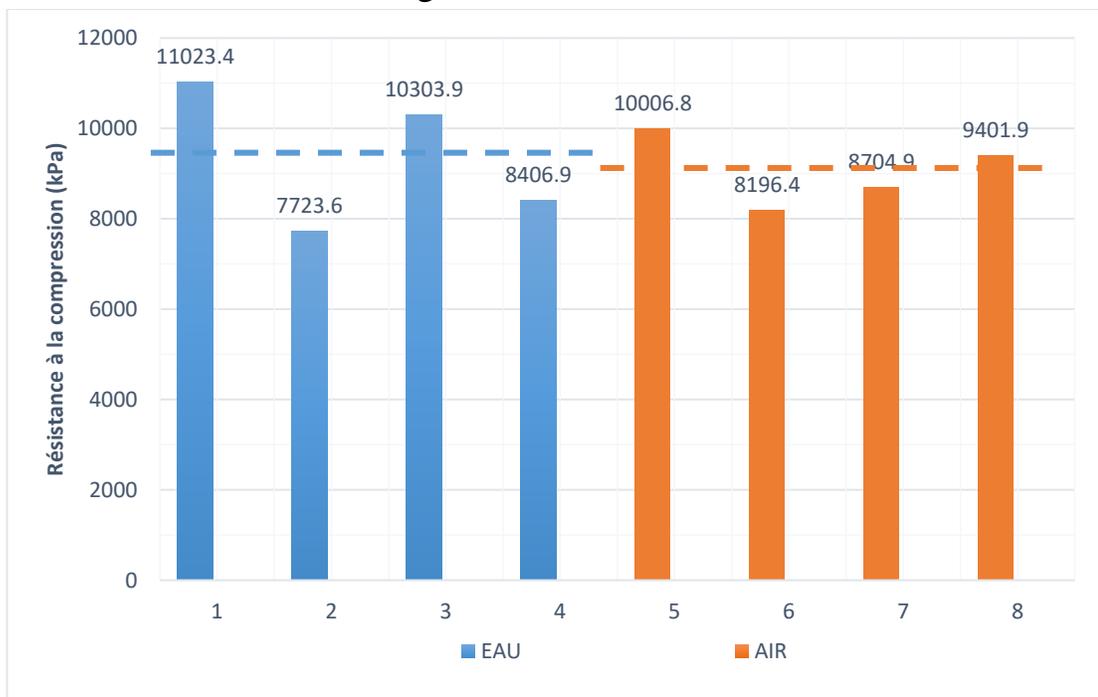


Figure IV.4. Diagramme Les résultats de la méthode statique pour chaque lot.

On peut remarquer dans cette méthode que les valeurs ne sont pas convergées, et proche aux moyennes. Ce cas il est claire dans le cas des lot humide (eau), deux valeurs sont trop élevées par rapport à la moyenne (+13%) et deux autres valeurs basses comparativement à la moyenne (+14%).

Dans le cas de lot sec (air), les deux valeurs variant par un taux de $\pm 7\%$ comparativement à la moyenne.

Ce dernier c'est l'origine d'une variation non acceptable de l'essai.

IV.4.2. Méthode impact :

Les résultats de la méthode statique sont présents dans le tableau IV.2.

Tableau. IV.2. Résultats de Méthode impact.

Éprouvette N°	Lot Humide				Lot Sec			
	01	02	03	04	01	02	03	04
Masse (g)	1198	1198	1202	1198	1205	1202	1198	1204
Moy. Diamètre (mm)	101.43	101.33	101.55	100.75	101.59	101.52	101.30	101.45
Moy. Hauteur (mm)	64.01	64.12	62.96	64.72	64.77	64.53	64.72	64.73
MVA (g/cm ³)	2.32	2.32	2.36	2.32	2.30	2.30	2.30	2.30
Résistance à la compression (kPa)	11392.4	12033.7	13389.5	11051.5	13547.3	12304.4	12354.0	12717.1

Résistance à la compression moyenne	Lot Humide (C_w) = 11966.7 kPa	Lot Sec (C_D) = 12730.7 kPa
Rapport d'immersion	$i/C = 100 \times C_w / C_D = 94.0 \%$	U = \pm _____ %

Dans ce cas, on trouve que les résultats trouvent répondre aussi aux spécifications européennes et algériennes avec une résistance de lot sec (air) plus de 7000 kPa et sensibilité à l'eau i/C plus de 80%, mais avec des valeurs différentes.

Les valeurs ici sont plus logique, les résistances des éprouvettes conserver dans l'eau pendant 7 jours ils ont diminué comparativement aux éprouvettes non

immerger dans l'eau, la diminution est quantifiée par le rapport i/C , et ce rapport exprime que l'enrobé présente un bon enrobage et bonne sensibilité à l'eau.

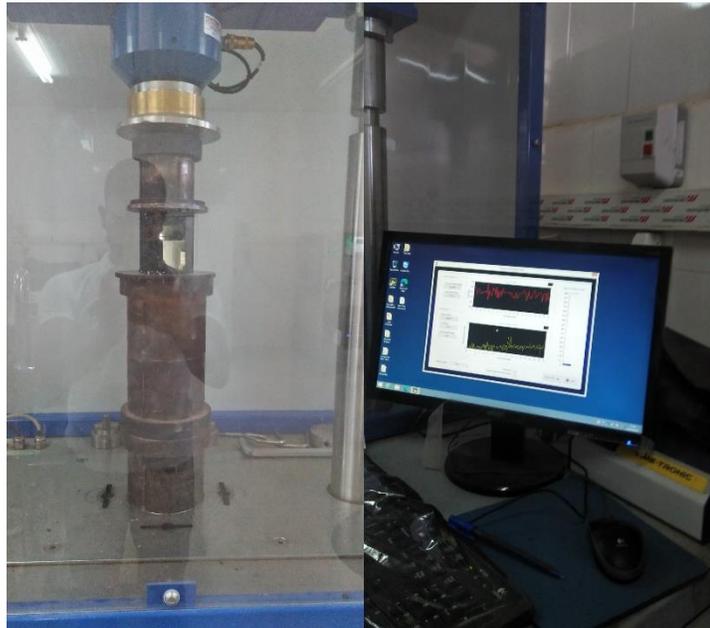


Photo IV.6. Écrasement les éprouvettes de la méthode impact.

Le problème de variation des valeurs mesurées dans cette méthode est moins présente dans cette méthode, la valeur de chaque éprouvette c'est proche à la moyenne. Ce dernier peut présenter graphiquement dans la figure IV.5.

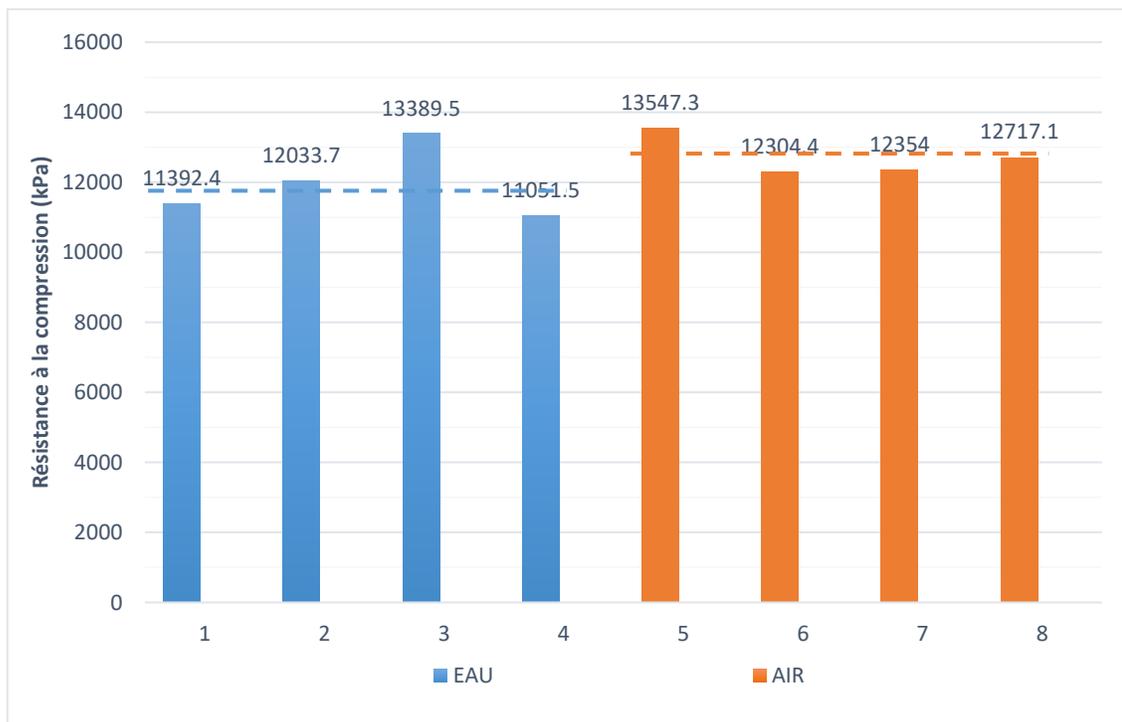


Figure IV.5. Diagramme Les résultats de la méthode impact.

La variance des résultats dans le cas des lot humide (eau) arrive à $\pm 6\%$, si on n'élimine la valeur 13389.5 parce que c'est la plus loin à la moyenne, on trouve une nouvelle moyenne 11492, et la variance des résultats diminue à -2% , $+4\%$.

Dans le cas de lot sec, la variance des résultats comparativement à la moyenne c'est -2% et $+6\%$, si on n'élimine la valeurs 13547 parce que c'est clairement non correct, la nouvelle moyenne c'est 12458, et la variance de résultats diminue à -1% et $+2\%$.

IV.4.3. Comparaison les méthodes :

Le but de ce travaille c'est de comparer les valeurs mesurant par deux méthodes de compactage donner par une norme de l'essai sensibilité à l'eau des enrobés bitumineux. Dans cette partie on discuter cette comparaison.

Le tableau suivant présente les valeurs moyenne de chaque méthode :

Tableau IV. 3. Les valeurs de résistance moyennes mesurés de chaque méthode.

Résultats de résistance		Méthode de compactage	
		Impact	Statique
Milieu	Eau	11966.7	9364.5
	Air	12730.7	9077.5

Ces valeurs moyennes présentent graphiquement dans la figures IV.6.

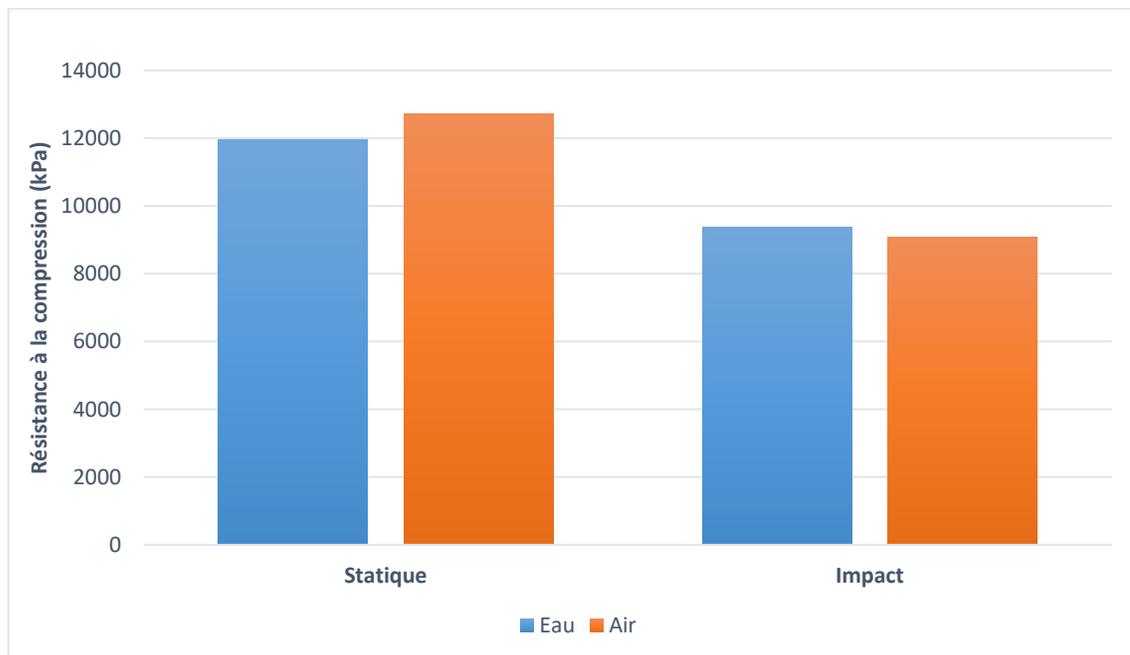


Figure IV.6. Diagramme des résultats de Comparaison des Méthodes.

On remarque que les valeurs trouvents de chaque méthode ne sont pas proche l'un à l'autre, la méthode impact donne des résistances plus comparativement au méthode statique est la difference arrive à 21,7 % pour les RC à l'eau et 28,7 % pour les RC à l'air.

Tableau IV. 4. Les valeurs de sensibilité à l'eau mesurés de chaque méthode.

Sensibilité à l'eau	Méthode de compactage	
	Impact	Statique
	94	103

Les valeurs présentent graphiquement dans la figures IV.7

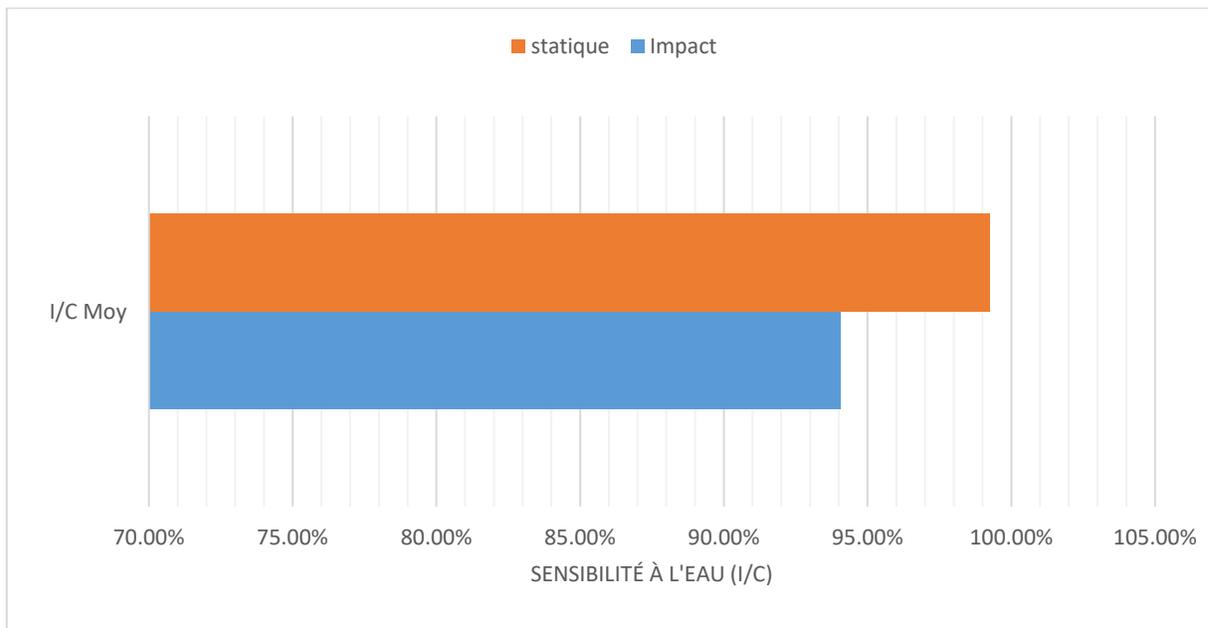


Figure IV.7. Diagramme les valeurs de sensibilité à l'eau mesurés de chaque méthode.

On remarque que une difference entre les valeurs trouvents dans chaque méthode, la méthode impact donne des indice i/C plus comparativement au méthode statique est la difference arrive à 5 % .

IV.5. Conclusion :

D'après les résultats obtenus à la fin de ce chapitre, que :

- Les deux méthodes de compactage ne donnent pas les mêmes résultats de résistance à la compression,
- Les deux méthodes de compactage ne donnent pas les mêmes résultats de sensibilité à l'eau (i/C),
- La variation des valeurs de chaque éprouvette est importante dans la méthode statique comparativement à la méthode impacte,

En effet, nous pouvons conclure que la méthode impacte est plus efficace que représentative.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail réalisé, durant cette période difficile de confinement due à la pandémie Covid19, grâce au soutien des responsables du LTP Sud que nous remercions vivement, nous a permis de constater qu'il y a une influence lisible de la méthode de préparation sur les résultats à différents niveaux.

Cette influence résultant de la méthode de préparation apparaît sur la masse volumique.

En comparant les deux méthodes, nous remarquons que la méthode impacte confectionne des éprouvettes plus résistantes par rapport à la méthode statique.

Il est à signaler aussi que la méthode impacte présente des résistances à la compression plus élevée.

On constate aussi que d'après les résultats enregistrés dans les éprouvettes obtenues par la méthode impacte sont beaucoup plus logiques par rapport à leurs spécifications (béton bitumineux).

Ces résultats auxquels nous ont abouti auraient pu être beaucoup plus représentatifs si toutes les conditions de travail étaient réunies.

Références Bibliographiques :

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

caoutchouc en domaine routier ». UKM Ourgla, Algérie.

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

CTTP (2001) : « *Contrôle Technique des Travaux Publics.* », Algérie.

De la Roche (1996) : « Module de rigidité et comportement en fatigue des enrobés bitumineux », Ecole Centrale de Paris, France.

François OLARD, (2003) : « Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basses températures : relations entre les propriétés du liant et de l'enrobé », Institut National des Sciences Appliquées INSA, Lyon, France.

Hassan BAAJ, (2002) : « Comportement a la fatigue des matériaux granulaires traites aux liants hydrocarbonés » Institut National des Sciences Appliquées INSA, Lyon, France.

Houda HAOUAM ,(2010) : « Etude numérique d'un mur de soutènement en sol stables et renforce avec fibres et geogrilles », UBM Annaba , Algérie.

Jean Claude MOREUX, (1987) : « Compacteur a cisaillement giratoire et simulateur de circulation (Orniereur) », Laboratoire Central De Ponts Et Chaussées, Paris, France.

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

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

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

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

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

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

Nabil KEBAILI ,(2017) : « l’asphalte caoutchouc valorisation de la poudrette de Prato et Coll, (2011) : « Rating of bituminous mixtures : Wheel trekking tests Campagneo analysais »,

Rabai BAZZINE ,(2017): « influence de l’ajout de la poudrette de caoutchouc sur la stabilité des enrobes bitumineux ». UKM Ourgla, Algérie.

Rilem17, (1998) : « bituminous binder and mixes –Rilem report, n°17 » ,London Angleterre.

roulement sable-bitume». UKM Ourgla, Algérie.

Safia KHENGAOUI, (2013): « valorisation du sable de dunes en couche de

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

Yann LEFEUVRE, (2001) : « Contribution à l’étude du comportement en fatigue des enrobés bitumineux, Etude de l’allongement des éprouvettes comme manifestation de l’endommagement diffus, Expérimentation - Modélisation », Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France.

Liste des normes :

EN 13108-1 (2007) : « Spécifications des matériaux - Partie 1 : Enrobés bitumineux».

NF EN 12697 – 10 (2003) : « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud- Partie 10 : Compactibilité ».

NF EN 12697-24, (2005) : « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud- Partie 24 –Résistance à la fatigue ».

NF EN 12697-26, (2004) : « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud– Partie 26 – Module de rigidité ».

NF EN 12697 – 31, (2003) : « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud-Partie 31 : Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire ».

NF EN 12697-33, (2004) : « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud- Partie 33 –Confection d'éprouvettes au compacteur de plaque ».

NF P 98 – 250 – 3, (1992): « Essais relatifs aux chaussées: Préparation des mélanges hydrocarbonés - Partie 3: confection des éprouvettes dans un bloc de mélange hydrocarboné».

NF P 98 – 260 – 1, (2001): « Essais relatifs aux chaussées: Détermination la résistance au fatigue des mélanges hydrocarbonés -Partie 1: Essai par flexion deux points à amplitude de flèche constante sur éprouvettes trapézoïdale isocèles ».

ANNEXES :

Structure Antenne in Salah...

N° Dossier interne :...LN/020/2020.....

Échantillon :...8/15.....

Équipements utilisés :...Balance 20kg +2100g.....

Lieu de travail : LABO INS

Date :...18/8/2020

Opérateur :...

N° D'inventaire :I022.10.S.002-L22.6.S.013

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V=...5L.....$

Poids $P= 3685$

$P_1+T=10915$ $P_1= 7230.....$

$P_2+T=10927... P_2= 7242$

$P_3+T=10947 ...P_3=7262.....$

$P_4+T=10955...P_4=7270.....$

Poids moy $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4 =...7251$

Masse volumique apparente $P/V =.....1.45T/M3...$

Masse volumique absolue :

Poids des agrégats secs $P_1=...346.7$

Poids du récipient plein d'eau $P_2=...1471...$

$P_3= P_1+P_2=.....1817.7.....$

Poids récipient + agrégats + eau= $...1690.5...$

$P_4=.....$

Volume des agrégats $V=P_3-P_4=...127.2.....$

Masse volumique absolue $P1/V =...2.72T/M3$

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE

MODE OPÉRATOIRE COURS DE LABORATOIRE

R.LANCHON BTS.DUT

Structure

N° Dossier interne :...LN/020/2020.....

Échantillon :...SABLE 0/3.....

Équipements utilisés :...Balance 20kg +2100g.....

Lieu de travail :.....

Date :...18/08/2020.....

Opérateur :...

N° D'inventaire :I022.10.S.002-L22.06.S.013

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V=...2L.....$

Poids $P= 2237$

$P_1+T=5282$ $P_1=3045.....$

$P_2+T=5279...P_2= 3042$

$P_3+T=5290 ...P_3= 3053.....$

$P_4+T=5268...P_4= 3031.....$

Poids moyen $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4 =...3042.75$

Masse volumique apparente $P/V =.....1.52T/M3...$

Masse volumique absolue :

Poids des agrégats secs $P_1=...483.67.....$

Poids du récipient plein d'eau $P_2=...1471...$

$P_3= P_1+P_2=.....1954.67.....$

Poids récipient + agrégats + eau= $...1773.13...$

$P_4=.....$

Volume des agrégats $V=P_3-P_4=...181.54.....$

Masse volumique absolue $P1/V =...2.66T/M3$

L'Opérateur

Visa du responsable

Structure
N° Dossier interne :...LN/020/2020.....
Échantillon :...3/8.....
Équipements utilisés :...Balance 20kg +2100g.....

Lieu de travail :.....
Date :...18/08/2020.....
Opérateur :...
N° D'inventaire :I022.10.S.002-L22.06.S.013

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V=...2L.....$
Poids $P= 2237$
 $P_1+T =5094 \quad P_1= 2857.....$
 $P_2+T=5039...P_2= 2802$
 $P_3+T=5047...P_3= 2810.....$
 $P_4+T=5080...P_4=2843.....$
Poids moyen $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4 =...2828$
Masse volumique apparente $P/V =.....1.42T/M3...$

Masse volumique absolue :

Poids des agrégats secs $P_1=...498.78.....$
Poids du récipient plein d'eau $P_2=...1471...$
 $P_3= P_1+P_2=.....1969.78.....$
Poids récipient + agrégats + eau= $...1780.7...$
 $P_4=.....$
Volume des agrégats $V=P_3-P_4=...189.08.....$
Masse volumique absolue $P1/V =...2.64T/M3$

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure:

N° Dossier interne: LN/020/2020

Classe granulaire: (8/15)

Prise d'essai: 3500 grs

Équipements utilisés : Série tamis, Balance

Lieu de travail:

Date: 17/08/2020

Opérateur:

N° D'inventaire : L.022.10,S,002

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20	0	0	0,00	100,00	100
16	8	8	0,23	99,77	100
12.5	701	709	20,26	79,74	80
10	1244	1953	55,80	44,20	44
8	998	2951	84,31	15,69	16
6.3	521	3472	99,20	0,80	1
5	17	3489	99,69	0,31	0
4	5	3494	99,83	0,17	0
3.15					
2.5					
2					
1.60					
1.25					
1					
0.80					
0.63					
0.500					
0.400					
0.315					
0.250					
0.200					
0.160					
0.125					
0.100					
0.080					

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure:

N° Dossier interne: LN/020/2020

Classe granulaire: 0/3

Prise d'essai: 1200 Grs

Équipements utilisés : Série tamis, Balance

Lieu de travail:]

Date:23/08/2020

Opérateur:

N° D'inventaire : L.022.10,S,002

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
14					
12.5					
10					
8					
6.3	0	0	0,00	100,00	100
5	0	0	0,00	100,00	100
4	0	0	0,00	100,00	100
3.15	2	2	0,17	99,83	100
2.5	12	14	1,17	98,83	99
2	87	101	8,42	91,58	92
1.60					
1.25					
1	248	349	29,08	70,92	71
0.80					
0.63					
0.500	287	636	53,00	47,00	47
0.400					
0.315					
0.250	235	871	72,58	27,42	27
0.200	129	1000	83,33	16,67	17
0.160					
0.125					
0.100	73	1073	89,42	10,58	11
0.080	11	1084	90,33	9,67	10
0.063	15	1099	91,58	8,42	8

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure:

N° Dossier interne: LN/020/2020

Classe granulaire: (3/8)

Prise d'essai: 2000 grs

Équipements utilisés : Série tamis, Balance

Lieu de travail:

Date: 17/08/2020

Opérateur:

N° D'inventaire : L.022.10,S,002

Ouverture	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
Tamis					
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
14					
12.5					
10	0	0	0,00	100,00	100,00
8	21	21	1,05	98,95	98,95
6.3	575	596	29,80	70,20	70,20
5	472	1068	53,40	46,60	46,60
4	393	1461	73,05	26,95	26,95
3.15	265	1726	86,30	13,70	13,70
2.5	231	1957	97,85	2,15	2,15
2	15	1972	98,60	1,40	1,40
1.60	0	1972	98,60	1,40	1,40
1.25					
1					
0.80					
0.63					
0.500					
0.400					
0.315					
0.250					
0.200					
0.160					
0.125					
0.100					
0.080					

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

COEFFICIENT D' APLATISSEMENT
NFP-18 561 Septembre 1990

Structure : ...
 N° Dossier interne : ...LN/020/2020.....
 Echantillon :3/8.....
 Équipements utilisés : ...Serie grilles + balance

Lieu de travail : ...Labo.....
 Date : ...17/08/2020.....
 Opérateur : ...
 N° D'inventaire : L022.10.S.002.....

TAMISAGE SUR TAMIS		TAMISAGE SUR GRILLES		
Classes granulaires d/D (mm)	M _g (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passant M _e (g)	(M _e /M _g)*100
31.5		20		
25		16		
20		12.5		
16		10		
12.5		8		
10		6.3		
8	21	5	7	
6.3	575	4	108	
5	472	3.15	93	
4	393	2.5	64	
M = Σ M _g	1461	Σ M _e =	272	
		$A = \frac{\Sigma M_e}{\Sigma M_g} \times 100 = 19$		

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

EQUIVALENT DE SABLE A 10 % DE FINES NF P 18 – 597 Décembre 1990

Structure: Unité Ghardaïa.

Lieu de travail: Service contrôle.

N° Dossier interne: Achèvement de Lot 02 du
dédoublément de la RN01.

Date: 30/07/2020.

Echantillon : Sable (0/3).

Opérateur :

Équipements utilisés : Balance/Etuve/Agitateur.

N° D'inventaire : L21-13-15/L49-07-86/L04-07-15.

1) Détermination de la teneur en eau naturelle

Masse de l'échantillon humide	M h	(g)	113.20	113.30
Masse de l'échantillon sec	M s	(g)	111.20	111.60
$\text{Teneur en eau : } W = \frac{M h - M s}{M s} \times 100$	W	(%)	1.80 %	

2) Détermination de la teneur en fines

Masse de l'échantillon humide	(g)	M h = 500 g
Masse de refus au tamis 0.08 mm	(g)	M s = 411.60 g
Pourcentage de fines : $F = 100 - \frac{M s (100 + W)}{M h}$		F = 16.20 %

3) Echantillon pour essai

Si F ≤ 11 %	
Masse de sable humide : $M_{sh} = 120 (1 + W/100)$	M sh = /
Tamisat à 2 mm (g)	
Si F > 11 %	
Masse de sable humide : $M_{sh} = (1200/F)(1+W/100)$	M sh = 75.40 g
Tamisat à 2 mm (g)	
Masse de sable correcteur : $M_{sc} = 120 - (1200/F)$	M sc = 45.93 g

Hauteur totale H 1	Hauteur de sable H 2 (Piston)	ES = (H 2/H 1) x 100	ES moyen %
11.40	8.80	77.19	76.85 % ~ 77 %
11.50	8.80	76.52	

L'Opérateur

Visa du Responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

RESISTANCE A L'USURE – ESSAI MICRO DEVAL

NA 5129 | EN 1097 – 1

Structure : Unité Ghardaïa.

Lieu de travail : Service contrôle.

N° Dossier interne : Achèvement de Lot 02 du
dédoublément de la RN01.

Date : 29/07/2020.

Appareille Micro Deval N° Inv : L57-05-09.

Opérateur :

Etuve N° Inv : L49-07-86.

Balance N° Inv : L21-26-15.

Classe granulaire	Tamis Intermédiaire	Proportions (%)		Poids totale de mélange des proportions M (g)	Refus de tamis 1.6 mm m (g)	$MDE = 100 \times \left(\frac{M - m}{M} \right)$
		Fraction 1	Fraction 2			
4-----6.3	/	/	/	500.00	403.00	19.40 %
10-----14	12.5	300.00	200.00	500.00	383.90	23.22 %
/	/	/	/	/	/	/

Observation :	Tamis	N° Série
	1,60 mm	0908466
	8,00 mm	/
	14,0 mm	14
	12,5 mm	1203351
	10,0 mm	1203338
	6,30 mm	1203303
	4,00 mm	1203269

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI DE PROPRIÉTÉ POUR GRANULAT

NFP 18-591 Septembre 1990

Structure : Unité Ghardaïa.

Lieu de travail : Service contrôle.

N° Dossier interne : Achèvement de Lot 02 du dédoublement de la RN01.

Opérateur :

Date : 29/07/2020.

Équipements utilisés : Balance/Etuve.

N° D'inventaire : L21-26-15/L49-07-86.

	Classe 3/8	Classe 8/15	Classe 15/25	Classe /
Poids humide échantillon P1 (g)	1135.76	739.07	1101.36	
Poids sec échantillon P2 (g)	1084.00	723.00	1088.00	
Formule de la propriété : $P(\%) = [(P1-P2)/P2] \times 100$	4.77 %	2.22 %	1.23 %	

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FRAGMENTATION PAR METHODE DE LOS ANGELES

NA 5130 | EN 1097 – 2

Structure : Unité Ghardaïa.

Lieu de travail : Service contrôle

N° Dossier interne : Achèvement de Lot 02 du
dédoublément de la RN01.

Date : 29/07/2020.

Appareille Los Angeles N°Inv :L58-06-15.

Opérateur :

Etuve N°.Inv : L49-07-86.

Balance N°.Inv : L21-26-15.

Classe granulaire	Tamis Intermédiaire	Proportions (%)		Poids totale de mélange des proportions M (g)	Refus de tamis 1.6 mm m (g)	$LA = 100 \times \left(\frac{M - m}{M} \right)$
		Fraction 1	Fraction 2			
4-----6.3	5	3000	2000	5000.00	3903.00	21.94 %
10-----14	12.5	3000	2000	5000.00	3539.00	29.22 %
10-----25	16	3000	2000	5000.00	3436.00	31.28 %

Observation :	Tamis	N° Série
(01): 8/15. (02): 3/8.	1,60 mm	0908466
	8,00 mm	/
	14,0 mm	14
	12,5 mm	1203351
	10,0 mm	1203338
	6,30 mm	1203303
	4,00 mm	1203269

L'Opérateur

Visa du responsable



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

Structure : Unité Ghardaïa.

Projet : Achèvement de Lot 02 du dédoublement de la RN01.

Maitre d'ouvrage : DTP Ghardaïa.

Entreprise : Sarl Alkogaz.

Equipement : Balance/Etuve/App LA/App MDE.

Lieu de Prélèvement : Stock poste d'enrobé.

Date de prélèvement : 28/07/ 2020.

N° D'inventaire : L21-26-15/L49-07-86/

L58-06-15/L57-05-09.

RESULTATS D'ANALYSE DES AGREGATS

Analyse granulométrique :

Caractéristiques des agrégats:

GRAVIER

Classe	AP (%)	LA (%)	MDE (%)	Propriété (%)	Autres
3/8	19	21	16	0.82	
8/15	22	20	12	0.25	
15/25	10	/	/	/	

SABLE

Sable 0/3	ES (à 10% Fines) (%)	<0.063mm (%)	OBS
(01)	66	8	
/	/	/	

Commentaires :

.....

.....

.....

.....

Le chargé de chantier :