

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



**Ecole Nationale Supérieure
des Travaux Publics**

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

Code :

Mémoire

Pour l'Obtention du Diplôme

De MASTER

Option infrastructures de base

Thème

**ETUDE DE L'INFLUENCE DE L'AJOUT DES FIBRES
VEGETALES SUR LE MODULE DES ENROBES
BITUMINEUX**

Encadré par :

Mr. HADEF bilal

Présenté par :

KHERBACHE Youcef

Promotion 2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Je tiens à remercier en premier lieu et avant tout **ALLAH** le tout puissant, qui m'a donné la force, la patience, le courage et la volonté d'accomplir mon travail dans les meilleures conditions

Je remercie mon familles pour leurs conseils permanents, leurs sacrifices afin d'y arriver à ce moment-là.

Je remercie mon encadreur Mr. **HADEF bilal** pour sa présence permanente, son amour du travail, sa générosité de donner tout ce qu'il a comme savoir, Je Le remercie pour ses conseils avisés qui ont rendu ce travail possible

Je remercie s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail, et qui me feront le plaisir d'apprécier.

J'adresse également mon profonde gratitude au personnel pédagogique de l'**Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics** (KOUBA)

J'adresse également mon profonde gratitude A tous le staff du CTTT

Sans oublier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail en particulier
Mr. MABROUKI kheld & Mr. ramdan.

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الخلق وخاتم الأنبياء والمرسلين «محمد صلى الله عليه وسلم»

وعلى آله وصحبه أجمعين، أما بعد :

أهدي ثمرة دراستي وجهدي المتواضع :

إلى من تتسابق الكلمات لتخرج معبرة عن مكنون ذاتها إلى من علمتني وعانت الصعاب لأصل إلى ما أنا فيه
وعندما تكسوني الهموم أسبح في بحر حنانها ليخفف من آلامي .. أُمِّي الغالية

إلى الذي تعب كثيراً من أجل راحتي وأفن حياته من أجل تعليمي إلى ذلك الرجل الغالي إلى

إلى من دفعني إلى العلم و به ازداد افتخار.. أبي

كما أسأل الله العلي القدير أن يطيل في عمري وعمرهما كي أرد و لو جزءا من خيرهم.

إلى إخوتي اللذين كانوا يضيئون لي الطريق ويساندوني ويتنازلون عن حقوقهم لإرضائي والعيش في هناء

إلى أبناء إخوتي: أمين، أنيس، آدم، عبد الغفور و الصغير إسحاق

إلى كل العائلة "خرباش"

إلى أصدقائي في الحي، رضا ، رمضان، سمير، حمزة

إلى من جمعني بهم مشعل العلم: حسام، وليد، محمد زغمار، محمد مغلاوي ، هشام قادري ، هشام بوزردوم، بلال،
شافعي، شكيب، صديق، عبد المجيد، فرкос، بشير. وإلى كل من عرفتهم في مشواري الدراسي

وفي وسط زحمة أسماء الأصدقاء لا أريد أن أنسى أساتذتي وعلى رأسهم بن قويطن، بريك، وأستاذ السنة الأولى
ابتدائي السيد زنتوت نوار.

إلى كل من أعاني في إنجاز هذا العمل خاصة السيد هادف بلال.

وإلى كل طلبة المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية و اخص بالذكر دفعة «2015» .

ملخص

إن حركة النقل التي صارت أكثر كثافة و تركيزا بالإضافة إلى الارتفاعات الكبيرة في درجة الحرارة تعد الأسباب الرئيسية للتشوهات التي تحصل في الطبقات العليا للطرق ، هذه العوامل قادت إلى استغلال مواد جديدة لتغطية القصور المسجل على مستوى التركيبة الزفتية العادية.

الدراسة الحالية تهدف إلى إيجاد الخصائص الميكانيكية لخرسانة زفتية محصل عليها من خلال إضافة ألياف نباتية مستخلصة من أشجار النخيل.

تم انجاز عدة خلطات باستعمال تراكييز و أطوال مختلفة من الألياف النباتية بغرض تتبع تغير الخصائص الميكانيكية بواسطة تجربة مارشال.

وقد أظهرت التجارب أن إضافة الألياف النباتية في نطاق معين ، لديه تأثير على أداء الخرسانة الزفتية حيث أنه أدى إلى ارتفاع ملحوظ في الخصائص الميكانيكية.

الكلمات الاستدلالية:
الخرسانة الزفتية، الألياف النباتية ، الخصائص الميكانيكية، ثبات مارشال.

RESUME

Le trafic de plus en plus contraignant et agressif ainsi que les températures durablement élevées sont à l'origine des déformations des couches supérieures de la chaussée, ces contraintes imposent la valorisation de nouveaux matériaux pour palier aux insuffisances des enrobés ordinaires.

La présente étude a pour objectif, d'évaluer les performances mécaniques d'un enrobé bitumineux obtenu à partir d'un squelette granulaire modifié par l'ajout de fibres végétales issue de déchets de nettoyage des palmiers.

La modification effectuée selon plusieurs formulations vise à suivre l'influence du pourcentage et de la longueur des fibres sur les performances mécaniques des enrobés bitumineux par l'intermédiaire d'essais MARSHALL et l'essai de module.

Les essais réalisés ont montrés que l'adjonction de fibres végétales, dans un certain dosage, possède une influence significative sur les performances mécaniques du béton bitumineux.

Mot clés :

Enrobée bitumineux, fibres végétales, performances mécaniques, stabilité Marshall.

ABSTRACT

Traffic has been more intensive and a lot concentrated also the major rising of temperature which considered as the main causes of road aggravation; these constraints require the valuation of new items to recover the shortage existing on the ordinary asphalt.

The current study aims to find out the mechanical performance of asphaltic concrete met obtained through adding the date palm fibres.

The change made in several formulations designed to track the influence of dosing and length date palm fibres on the mechanical performance of concrete through the Marshall Stability test.

The results obtained showed the positives aspect of adding date palm fibres, therefore it has ameliorated the mechanical performance.

Keywords:

Asphaltic concrete, date palm fibres, mechanical performance, stability Marshall.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ENROBES BITUMINEUX	
1. BITUMES	2
1.1. Introduction	2
1.2. Historique	2
1.3. Origine.....	3
1.4. Fabrication.....	3
1.5. Composition chimique et structure des bitumes.....	3
1.6. Les grandes catégories de bitumes	3
1.6. Classification des bitumes routiers.....	3
6.1. Bitumes purs	3
6.2. Bitumes spéciaux : non normalisés	3
6.3. Bitumes industriels ou oxydés	4
6.4. Bitumes fluidifiés.....	4
6.5. Bitumes fluxés	4
1.7. Essais sur le bitume.....	4
1.7.1 Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NFT66 004).....	4
1.7.2 Essai bille anneau (NFT66 008).....	5
1.7.3 Viscosité absolue.....	6
1.7.4 Viscosité cinématique	6
2. GRANULATS	7
2.1. Introduction	7
2.2. Classification des granulats routiers	7
2.3. Principaux essais propres aux granulats	7
2.3.1. Analyse Granulométrique (NA 2607).....	8

2.3.2.	Essai au bleu de méthylène (norme NF EN 933-9:1999)	9
2.3.3.	Essais de résistance à l'usure et au choc des granulats (norme NA 5129).....	9
2.3.4.	Résistance au choc (essai Los Angeles) (norme NA5130)	10
2.3.5.	Densité réel (norme NA255).....	11
3.	ENROBE	11
3.1.	Introduction	11
3.2.	Enrobé à chaud	12
3.3.	Essais, melanges et formulations.....	12
3.3.1.	Méthodologies des études de formulations des enrobés bitumineux Algérienne	12
3.3.2.	Détermination de la teneur en bitume (TL).....	13
3.4.	Essais sur enrobés bitumineux.....	15
3.4.1.	Essai Marshall (norme NA 5227)	15
3.4.2.	Essai Duriez (Essai de compression simple type LCPC) (NF P9 – 251 – 1). 15	
3.4.3.	Essai d'orniérage (norme EN 12697-22)	15
3.4.4.	Essai de Fatigue (norme EN12697-24)	16

CHAPITRE II : DEGRADATIONS DES COUCHES EN ENROBES BITUMINEUX

1.	Introduction	18
2.	Influence des actions appliquées à la chaussée.....	18
2.1.	Effet du trafic.....	18
2.2.	Effet de la température	19
3.	Les principales dégradations des chaussées.....	20
3.1.	Fissures longitudinales	20
3.2.	Affaissement.....	21
3.3.	Désenrobage et arrachement	21
3.4.	Phénomène d'orniérage.....	22

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES FIBRES VEGETALES

1.	Définition de la fibre végétale	23
2.	Classification des fibres végétales	23
3.	Morphologie de la fibre végétale.....	23
4.	Structure de la fibre végétale	25
5.	Propriétés mécaniques de la fibre végétale.....	26
6.	Conclusion.....	28

CHAPITRE IV : ESSAIS ET NOTIONS SUR LE MODULE DES ENROBES BITUMINEUX

1.	Introduction	29
2.	DESCRIPTION DE L'APPAREIL NOTTINGHAM ASPHALTE TESTER(NAT)	29
3.	Appareillage	33
3.1.	Composition de l'outillage	30
3.2.	Appareillage d'essai.....	31
3.3.	Système de chargement.....	32
4.	Préparation de l'éprouvette.....	36
5.	Mode opératoire.....	37
5.1	Conditionnement et température d'essai.....	37
5.2	Montage de l'éprouvette	39
5.3	Mesure de rigidité.....	39
6.	CONCLUSION	42

CHAPITRE V : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

1.	Exposition des travaux de MERKHOUI sur les déformations rhéologiques du béton renforcé par les fibres du palmier dattier.....	43
1.1.	résultats.....	43

2.	Exposition des travaux de KRIKER sur le retrait de mortiers renforcés par les fibres du palmier dattier.....	44
2.1.	résultats.....	44
3.	Exposition des travaux de DELGADO sur Comportement mécanique à la fatigue d'enrobés bitumineux renforcés de fibres végétales.....	44
3.1.	résultats.....	44

CHAPITRE VI: CARACTERISATION DES COMPOSANTS

Granulats	47
1. Provenance des matériaux.....	47
2. Identification des constituants.....	48
2.1. Caractéristiques intrinsèques des granulats.....	48
2.2. Caractéristiques de fabrications des granulats.....	48
BITUMES	53
3. Essai de pénétrabilité à l'aiguille.....	53
4. Essai de ramollissement bille & anneau.....	54
5. Essai de ductilité à 25°C (norme NA 5223).....	55
ENROBE BITUMINEUX	56
1. Formulation du mélange BB 0/14.....	56
2. Détermination du mélange granulaire optimal.....	56
3. Détermination des teneurs en bitume.....	57
4. Essais de performances mécaniques.....	59
4.1 Essai de Marshall.....	69
a) Principe de l'essai.....	59
b) Mode opératoire.....	60

4.2	Essai module de rigidité.....	64
a)	Principe	64
b)	Mode opératoire	64

CHAPITRE VII : INFLUENCE DE L'AJOUT DES FIBRES SUR LE MODULE DES ENROBES

1.	Introduction	64
2.	Préparation des Fibres.....	64
3.	Sélection et découpage des fibres.....	64
4.	Démarche expérimentale.....	65
5.	Mode opératoire	65
6.	Influence de fibres végétales sur le Module de rigidité.....	68
7.	INTERPRETATION DES RESULTATS.....	68
CONCLUSION		70

Bibliographie

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Classification des bitumes selon la pénétrabilité et TBA	6
Tableau 2:Spécifications européennes pour bitumes purs.	8
Tableau 3 :Fuseau granulométrique BB 0/14.	14
Tableau 4:Les valeurs usuelles du module de richesse pour le béton bitumineux.....	15
Tableau 5:morphologique des fibres	26
Tableau 6:Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles.....	31
Tableau 7:Dimensions des bandes de chargement.....	35
Tableau 8 :Provenance des granulats utilisés.....	47
Tableau 9:Caractéristiques intrinsèques des granulats	48
Tableau 10:Caractéristiques de ‘fabrication’ des agrégats.....	49
Tableau 11: Résultats de l’analyse granulométrique	51
Tableau 12:Résultats des essais effectués sur le bitume utilisé	55
Tableau 13:Composition du mélange granulométrique	56
Tableau 14:Teneurs en bitume retenues.....	58
Tableau 15:Résultats des essais.....	64
Tableau 16: Composition du Béton Bitumineux 0/14.....	68
Tableau 17: la quantité de fibres ajoutées pour chaque dosage	68
Tableau 18:Résultat du Module en fonction de pourcentage et longueur d’ajout des fibres végétales.....	69

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Schéma de pénétrabilité pour le bitume et Pénétrromètre à aiguille	5
Figure 2:Matériel de l'essai granulométrique.....	10
Figure 3:Essai d'équivalent de sable	11
Figure 4:l'essai Micro Deval.....	11
Figure 5:Essai Los Angeles	12
Figure 6:Simulateur de trafic avec une roue en acier	18
Figure 7:Essai de fatigue	18
Figure 8: Exemple de diagramme [déformation - nombre de cycles à rupture].....	19
Figure 9:Schématisation des sollicitations induites par le trafic, D. BENEDETTO [18]	20
Figure 10:Schématisation des sollicitations induites par la température,.....	21
Figure 11:Fissures longitudinales	23
Figure 12:Affaissement.....	23
Figure 13:Désenrobage et arrachement	24
Figure 14:Phénomène d'orniérage. A DAWSON, P KOLISOJA [15].....	24
Figure 15: Photographie en microscopie électronique à balayage d'une fibre de coton	27
Figure 16:Structure du bois (observations multi échelles) [MIC 03].....	28
Figure 17:Modèle de description de la structure d'une fibre végétale. [BEL 99]	29
Figure 18:Exemple de défaut structural sur une fibre de lin. [CHA 06]	30
Figure 19:Nottingham Asphalt Tester	33
Figure 20:Schéma global de l'appareillage d'essai.....	35
Figure 21:Forme de l'impulsion de chargement, indiquant le temps de montée et la valeur crête de charge	36
Figure 22:Chaîne d'enregistrement.....	38
Figure 23:Châssis d'alignement LVDT	39
Figure 24:Dispositif de mesure de la déformation diamétrale horizontale.....	39
Figure 25:Amplitude de déformation	45
Figure 26:Fractions granulaires 0/3, 3/8 et 8/15 utilisées	47
Figure 27:Courbes granulométriques des fractions granulaires	50
Figure 28: Bitume pur 40/50	53
Figure 29:Dispositif de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille	54

Figure 30:Appareil digital de ramollissement Bille et anneau.....	54
Figure 31: Principe de l'essai de ductilité.....	55
Figure 32: Courbe granulométrique du mélange et fuseau 0/14	57
Figure 33: Principe de l'essai Marshall.....	60
Figure 34:Etuve de chauffage.....	60
Figure 35:Enrobé après malaxage.....	61
Figure 36:Remplissage des moules Marshall.....	61
Figure 37: Dame Marshall.....	62
Figure 38:éprouvettes démoulées.....	62
Figure 39:Bain-marie	63
Figure 40:écrasement des éprouvettes	63
Figure 41:Fibres de palmier dattier coupées.....	67
Figure 42:Résultat du Module en fonction de pourcentage et longueur d'ajout des fibres végétales.....	69

NOMENCLATURE

CTTP	Contrôle Technique des Travaux Public
C	Compacité (%)
S	Stabilité Marshall (kgf)
F	Fluage (mm)
K	Module de Richesse
TL	Teneur en bitume (%)
Σ	Surface spécifique des granulats
α	Coefficient correcteur
Mv	Masse volumique du granulat
G	La proportion pondérale des granulats supérieurs à 6.3 mm (%)
S	La proportion pondérale des granulats compris entre 6.3 et 0.315 mm (%)
s	La proportion pondérale des granulats compris entre 0.315 et 0.08 mm (%)
f	La proportion pondérale des granulats inférieurs à 0.08 mm (%)
BB	Bétons bitumineux
GB	Graves bitumineux
NAT	Nottingham Asphalt Tester

INTRODUCTION

L'Algérie est parmi les pays, qui dispose d'extraordinaires ressources en fibres végétales (de palmier, Alfa Abaca, Chanvre, Cotton ...), malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques, entre autre, dans les matériaux de construction est encore peu exploitée.

L'objectif de ce travail consiste à apporter notre contribution à la valorisation des ressources locales en l'occurrence les fibres végétales de palmier dattier à faible coût et provenant d'une source renouvelable et de l'intégrer d'une façon rationnelle dans le domaine des travaux routier.

Ainsi, le présent travail s'intéresse, donc, à l'étude de l'influence de l'ajout de fibres végétales de palmier dattier sur le module des bétons bitumineux.

Enfin, nous espérons que ce travail apportera une contribution au développement et à la valorisation des fibres végétales du palmier dattier en climat chaud et sec.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES ENROBES BITUMINEUX

GENERALITES SUR LES ENROBES BITUMINEUX

1. BITUMES

1.1. INTRODUCTION

Ce chapitre introductif, nous permet d'avoir une idée globale et d'une manière significative sur la fabrication, la composition, ainsi que la structure des bitumes et les connaissances acquises à ce jour sur les propriétés des matériaux bitumineux afin d'établir le cadre général de cette étude.

1.2. HISTORIQUE

Utilisé dès la plus haute antiquité, époque des Sumériens et Babylone (exemple les Égyptiens, l'utilise pour la conservation de leurs momies), le bitume naturel et la roche calcaire sous forme d'asphalte ont été utilisés dans certaines parties des constructions soit comme enduit en bâtiment ou pour des chemins piétonniers.

1.3. ORIGINE

Les bitumes sont des produits issus de la distillation des pétroles bruts (riche en produit lourds asphalténiques). Divers modes de fabrication sont possibles. Après passage par la distillation atmosphérique on l'obtient soit par soufflage, distillation sous vide ou le désasphaltage (SAOUDI, N).

1.4. FABRICATION

Après décantation, le pétrole étant chauffé à une température élevée (350-380°C), le résidu est recueilli puis traité selon l'utilisation

a. La distillation sous vide : permet d'éliminer les constituants volatiles sans modification importantes de la structure chimique (SAOUDI, Nacira).

b. Le soufflage : se fait à une température d'environ (240-250°C) avec introduction de l'air en présence de (FeCl_3 , P_2O_5), et n'est pas utilisé comme bitume routier

c. L'extraction ou « désasphaltage au solvant » : séparation physique des constituants des résidus.

1.5. COMPOSITION CHIMIQUE ET STRUCTURE DES BITUMES

1.5.1 COMPOSITION CHIMIQUE

Les bitumes sont des mélanges complexes. Ils contiennent des métaux lourds comme le nickel, le vanadium, le silicium, le fer, des hétéroatomes comme le soufre, l'azote et l'oxygène à savoir:

- carbone de 82 à 85 %, hydrogène de 8 à 11 %.
- oxygène, soufre, azote et autres de 2 à 3 %.

Il est de pratique de regrouper les différents constituants au sein de grandes familles chimiques. Ce sont les asphaltènes, résines, saturés et aromatiques.

1.6. LES GRANDES CATEGORIES DE BITUMES

1.6.1 BITUMES PURS

Issus après distillation directe ou par soufflage.

Le soufflage (parfois renforcé par le chlorure ferrique ou acide phosphorique, etc.), il conduit à des bitumes ayant des points de ramollissement plus élevés que ceux obtenus par distillation. Il désydrogénéise le résidu, conduit à une oxydation et polycondensation, forme de nouveaux asphaltènes à partir des phases maltènes.

Les grades habituels contiennent « 8 à 15 % d'asphaltènes » (produit par distillation) et ceux obtenus par soufflage « 15 à 20 % d'asphaltènes » pour les routiers (semi soufflé) et de 20 à 30 % d'asphaltènes pour les bitumes industriels (oxydés)

1.6.2 BITUMES SPECIAUX : NON NORMALISES

a. **Bitumes durs** : Ils sont de grades 5/10, 10/20,15/25,25/35, ils sont généralement employés en couche de base ou de liaison. Ils permettent d'éviter les déformations par fluage.

b. Bitumes multigrades : ont un très large intervalle de température d'emploi que les bitumes purs normalisés, présentent un indice de pénétrabilité élevé (0 à +2) et une résistance importante aux déformations de type orniérage.

c. Bitumes pigmentables : Ce sont des bitumes pauvres en asphaltènes, qui ne peuvent être obtenus qu'à partir des bruts légers. Ils sont employés le plus souvent en enrobés à chaud.

1.6.3 BITUMES INDUSTRIELS OU OXYDES

Obtenus par soufflage, dont le point de ramollissement peut atteindre 100°C à 115°C et la pénétrabilité très faible (inférieure à 10 [1/10mm]. La teneur en asphaltènes est en générale supérieur à 20 %.

1.6.4 BITUMES FLUIDIFIES

Constitué par ajout d'une coupe pétrolière fluide de type Kérosène à un bitume mou de type 100/120 ou 70/100. On obtient différents grades classés selon leurs viscosités à 40°C (Cut back)

1.6.5 BITUMES FLUXES

Le fluxant est une huile de houille ou une huile de pétrole, on l'obtient en fonction du pseudo viscosité à 40 °C (SAOUDI, Nacira).

1.7. ESSAIS SUR LE BITUME

1.7.1 ESSAI DE PENETRABILITE A L'AIGUILLE (NFT66 004)

L'essai consiste à mesurer l'enfoncement d'une aiguille normalisée (sous l'effet d'une charge de 100g) au bout d'un temps de 5 secondes, dans une coupelle de bitume à une température de 25±1°C. La valeur de la pénétration est d'autant plus grande que le bitume est mou. Cette valeur est donnée par la profondeur, exprimée en [1/10 mm] (figure 1).

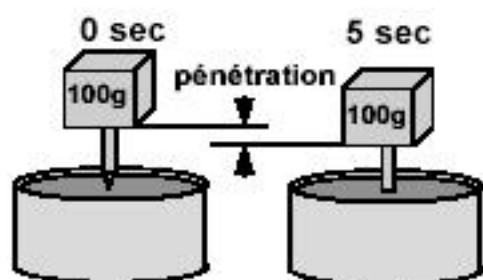


Figure 1:Schéma de pénétrabilité pour le bitume et Pénétrömètre à aiguille (SAOUDI, Nacira).

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

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

1.7.2 ESSAI BILLE ANNEAU (NFT66 008)

L'essai consiste à déterminer la température notée (TBA) à laquelle un bitume subit une déformation irréversible pour des contraintes bien définies. Ou un anneau rempli de bitume chauffe jusqu'à ce que le bitume se déforme sous le poids d'une bille d'acier normalisée.

En relation avec la pénétration, le point de ramollissement permet d'évaluer la susceptibilité d'un bitume à la variation de température et sa consistance relative dans un enrobé.

Tableau 1: Classification des bitumes selon la pénétrabilité et TBA (LAMOTHE, S).

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

Dans cet essai, plus le point de ramollissement est élevé plus le bitume est dur.
(LAMOTHE,S)

1.7.3 VISCOSITE ABSOLUE

Elle mesure la consistance ou la résistance à l'écoulement d'un bitume à la température maximale que peut généralement atteindre un revêtement bitumineux, c'est à dire 60 °C. Il existe une corrélation entre cette résistance et les phénomènes de déformation des revêtements en béton bitumineux, particulièrement celui de l'orniérage. Ainsi, un bitume de viscosité absolue élevée minimisera la déformation de l'enrobé dont il fait partie.

1.7.4 VISCOSITE CINEMATIQUE

Le but de cette expérience est de déterminer la résistance à l'écoulement d'un bitume routier à haute température (135°C). Plus elle est élevée, plus la fluidité est faible. La viscosité permet d'évaluer indirectement la fluidité d'un bitume à l'enrobage.

2. GRANULATS

2.1. INTRODUCTION

Les granulats utilisés dans les techniques routières peuvent être naturels ou artificiels. Ils sont dits naturels lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives, extraites in situ, et qu'ils ne subissent aucun traitement autre que mécanique. On les qualifie d'artificiels lorsqu'ils proviennent soit de la transformation thermique de roches, minerais et déchets, soit de la démolition d'ouvrages divers (AIPCR).

Le rôle des granulats est d'abord mécanique. Ils sont choisis pour leur résistance aux usages, leur taille, leur origine et leur répartition afin de supporter au mieux les usages attendus.

2.2. CLASSIFICATION DES GRANULATS ROUTIERS

Selon leurs dimensions, les granulats sont classés par classes granulaires. La classe granulaire «d/D» est composée de granulats dont le diamètre est compris entre d et D.

Selon la norme NF P 18-101, les granulats ont été répartis dans les différentes familles:

Les fines	0/D	avec	$D \leq 0,08$ mm.
Les sables	0/D	avec	$D \leq 6,3$ 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	d/D	avec	$d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm.

En Algérie, les granulats sont classés d'une manière différente. En effet, les différentes fractions granulaires sont: 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25. La fraction granulaire 3/8, par exemple, ne comprend que des granulats de diamètres compris entre 3mm et 8mm.

2.3. PRINCIPAUX ESSAIS PROPRES AUX GRANULATS

L'aptitude des granulats à être utilisés dans les assises de chaussée est appréciée par un certain nombre d'essais:

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

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

- La résistance à la fragmentation par les essais Los Angeles (NA 5130) ;
- La résistance à l'usure et à l'attrition par l'essai Micro-Deval humide (NA 5129);

2.3.1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE (NA 2607)

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NA 2607)

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisât sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.



Figure 2:Matériel de l'essai granulométrique.

2.3.2. ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE (NF P 18-598)

L'équivalent de sable (ES) est le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sableuse sédimentée (propre), à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée.

L'essai consiste à faire flocculer les éléments fins d'un sable mis en suspension dans une solution la vante puis, après un temps de mise au repos donné, à mesurer la hauteur des éléments sédimentés. Il est effectué sur la fraction du sable passant au tamis à mailles carrées de 5 mm.

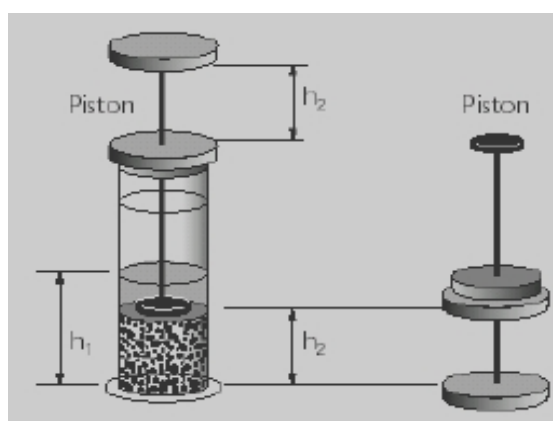


Figure 3:Essai d'équivalent de sable

2.3.3. ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (NORME NF EN 933-9:1999)

Cet essai, utilisé de manière courante pour caractériser l'activité des argiles contenue dans le sol, est également utilisé pour évaluer l'influence des fines d'origines argileuses contenues dans les sables et graves d'origines naturelles ou artificielles.

L'essai est conduit sur un échantillon contenant au moins 200g de fraction granulométrique 0/2 mm.

2.3.4. ESSAIS DE RESISTANCE A L'USURE ET AU CHOC DES GRANULATS (NORME NA 5129)

A partir de l'essai Micro Deval (MDE) en présence d'eau, on utilise un broyeur à billes d'acier, contenant de l'eau, provoquant ainsi une usure des gravillons par des frottements réciproques avec production d'éléments fins (passant au tamis 1,6 mm).

MDE représente la proportion d'éléments fins produits pendant l'essai, plus le MDE est faible, meilleur sera la résistance à l'usure (ZEMMIRI,A).



Figure 4:l'essai Micro Deval

2.3.5. RESISTANCE AU CHOC (ESSAI LOS ANGELES) (NORME NA5130)

Il consiste à placer dans un cylindre à axe horizontal de 70 cm de diamètre et 50 cm de longueur les granulats ainsi que des boules d'acier. On effectue 500 révolutions à 30 tr/min. Le poids et la granularité de la prise d'essai sont déterminés en fonction du diamètre maximal du granulat.

Après essai, les matériaux sont criblés au tamis de maille 1,6 mm et le poids de la fraction passante est rapporté au poids de la prise d'essai. Le rapport, multiplié par 100, est appelé coefficient Los Angeles (LA) (BERTHIER,J).



Figure 5:Essai Los Angeles

2.3.6. DENSITE REEL (NORME NA255)

La densité réel des agrégats et ordinairement déterminée pour deux raisons :

- Pour permettre le calcul des vides dans le béton bitumineux à l'état compacté.
- Pour ajuster les quantités de fractions constituantes de l'agrégat dans le béton bitumineux, lorsque la densité relative de ces fractions constituantes varis sensiblement.

3. ENROBE

3.1. INTRODUCTION

Toutefois après avoir traité d'une manière très succinct le bitume et le granulat. On notera que la combinaison des deux forment l'enrobé, lequel doit aussi répondre à certaines exigences.

On appelle enrobé tout mélange constitué de granulats agglomérés entre eux par un liant hydrocarboné, ce mélange peut être enrichi par des fines et éventuellement contenir des additifs en vue d'améliorer certaines propriétés. Généralement la composition d'un enrobé bitumineux est comme suit :

- **Granulats** : (environ 93% à 95% en poids) composés de plusieurs fractions en pourcentages variables :

Les fines < 80 μm

Les sables (0/3)

Les graves (3/8, 8/15)

- **Bitumes** : (5 à 7 % en poids)

Les enrobés sont classés en catégorie, selon leur usage. On parle soit de béton bitumineux (BB) pour les couches de surface, soit de Grave Bitume (GB) pour les couches d'assise. Leurs formulations et dimensionnements sont réalisées par couche, entre autre, sélectionnées selon le trafic prévu : nombre de cycles de sollicitation (SEBBEN PARANHOS, R).

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons aux enrobés bitumineux à chaud qui résultent d'un mélange à chaud de gravillons, de sable, de fillers et de liants bitumineux.

3.2. ENROBE A CHAUD

Les enrobés bitumineux à chaud compactés sont fabriqués par mélange à chaud de gravillons, de sable avec ou sans fines, de filler, de liant bitumineux et d'éventuels dopes et/ou d'additifs, dans une proportion choisie. Dans ce mélange, le liant hydrocarboné (le bitume) est principalement responsable de la cohésion tandis que le squelette minéral constitué par les granulats assure la rigidité de l'ensemble (EL BEZE, L).

Les enrobés à chaud fabriqués aux alentours de 180°C, dans une centrale d'enrobage.

L'objectif est de produire un enrobé durable qui sera transporté à chaud vers le chantier d'épandage, pour former la couche supérieure du revêtement des infrastructures routières. Il est mis en œuvre à une température d'environ 150 °C au moyen d'un finisseur. En dessous de 130°C, un enrobé à chaud devient difficile à travailler, et la qualité de l'application peut en pâtir.

3.3. Essais, mélanges et formulations

3.3.1. Méthodologies des études de formulations des enrobes bitumineux algérienne

La formulation en Algérie est basée sur la vérification des caractéristiques des composants ainsi que sur les essais Duriez et Marshall en fonction des matériaux granulaires. On choisit une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait donner une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné.

On doit vérifier premièrement que la courbe granulométrique du mélange s'inscrit parfaitement dans le fuseau spécifique de référence au béton bitumineux 0/14 de SETRA- LCPC destiné pour une couche de roulement.

Les fractions granulaires du béton bitumineux 0/14 sont choisies parmi les granulats suivante: 0/3, 3/8, 8/15, le Fuseau des granulats sont représentés comme suit:

Tableau 2 :Fuseau granulométrique BB 0/14.

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

3.3.2. DETERMINATION DE LA TENEUR EN BITUME (TL)

On note que la teneur en bitume (TL) correspond à la masse de liant sur la masse des granulats secs exprimé en pourcentage. Duriez a établi une formule pour déterminer la teneur en bitume des enrobés en fonction de la surface spécifique du mélange :

$$TL = k \cdot \alpha \cdot \sqrt[5]{\Sigma} \quad (\text{CTTP}).$$

k : module de richesse

Il représente une quantité de liant en fonction de la surface spécifique du mélange sec. Il caractérise donc l'épaisseur du film de liant autour des granulats. Le module de richesse permet de classer les mélanges bitumineux :

-Les bétons bitumineux ($3 < k$ béton bitumineux $< 3,9$)

Tableau 3:Les valeurs usuelles du module de richesse pour le béton bitumineux

Enrobé	Module de richesse (k)			
0 / 14	3.45	3.6	3.75	3.90

α : coefficient correcteur

Ce coefficient permet de tenir compte de la masse volumique réelle des granulats), si celle-ci diffère de 2.65 t/m³, on utilise la formule suivante :

$$\alpha = 2,65 / Mv \quad (\text{CTTP})$$

Σ : surface spécifique conventionnelle

La surface spécifique d'un granulat représente la surface totale des particules par rapport à son volume. Elle est exprimée en m^2/m^3 de granulat. Cette façon d'exprimer la surface spécifique permet de faire la comparaison entre les différents granulats. Elle est exprimée ensuite en m^2/kg , laquelle est essentiellement comparable entre les matériaux possédant une même densité (LAMOTHE, S).

$$\Sigma = 0.25 G + 2.3 S + 12s + 135f \quad \text{en } m^2/kg$$

G : proportion pondérale des éléments supérieurs à 6.3 mm.

S : proportion pondérale des éléments compris entre 0.315 mm et 6.3 mm.

s : proportion pondérale des éléments compris entre 0.08 mm et 0.315 mm.

f : proportion pondérale des éléments inférieure à 0.08 mm.

Dans certains cas, on utilise la formule simplifiée suivante :

$$\Sigma = 2.5 G + 1.3f \quad [m^2/kg] \quad (\text{CTTP})$$

La surface spécifique est influencée par :

A) La Grosseur Maximale.

B) La Granulométrie.

C) La Forme du Granulat.

A) Grosseur maximale des granulats : la surface spécifique est inversement proportionnelle à la dimension maximale des granulats.

B) Granulométrie des granulats : pour un granulat de même grosseur maximale, La surface spécifique sera proportionnelle aux pourcentages passants ou à la finesse du granulat.

C) Forme des granulats : la surface spécifique d'une particule cubique est 2 fois plus grand que celle d'une particule sphérique (Field, 1978). ce sont les particules plates et allongées qui ont la plus grande surface spécifique. cependant, Field (1978) précise que la méthode des surfaces spécifiques, qui utilise des facteurs prédéterminés pour chacun

des tamis n'est pas toujours réaliste car elle utilise les mêmes facteurs peu importe la forme du granulat. Cela constitue une source d'imprécision (LAMOTHE, S).

3.4. ESSAIS SUR ENROBES BITUMINEUX

Les formulations de bétons bitumineux sont déterminées au moyen d'essais dans le laboratoire permettant d'évaluer le comportement des matériaux au compactage (Presse à cisaillement Giratoire PCG), d'apprécier leurs caractéristiques mécaniques (essais de fatigue, essais MARSHALL, essais LCPC -DURIEZ) et d'estimer leurs risques de déformations permanentes (essais à l'ornièreur) (SIDIBÉ, B).

3.4.1 ESSAI MARSHALL (NORME NA 5227)

L'essai Marshall est toujours très utilisée au niveau international, pour la détermination direct de la stabilité (force maximale appliquée) et du fluage Marshall (valeur de déformation en 1/10 mm correspondant à la stabilité), deux grandeurs liées à la caractérisation empirique de l'orniérage (DONGMO,B).

3.4.2 ESSAI DURIEZ (ESSAI DE COMPRESSION SIMPLE TYPE LCPC) (NF P9 - 251 - 1)

La méthode d'essai Duriez, essai de compression simple, a pour but de déterminer, à 180 C° pour un compactage donné, la tenue à l'eau d'un mélange hydrocarboné à chaud à partir des résistances à la compression avec ou sans immersion des éprouvette.

3.4.3 ESSAI D'ORNIERAGE (NORME EN 12697-22)

Cet essai est très important pour les routes fréquentées et avec un pourcentage de poids lourds assez élevé, il permettra de simuler au laboratoire la résistance de l'enrobé à l'orniérage (ZEMMIRI, A).

L'orniérage est très populaire, car c'est une méthode qui est plus représentative que les autres méthodes de laboratoire lors de l'évaluation de la résistance à la déformation permanente et les résultats ont montré une excellente corrélation avec la déformation de chaussée en service

Mode d'essai : on détermine la profondeur de l'ornièrre au passage répété d'un pneumatique, selon l'épaisseur de l'enrobé .On confectionne une plaque de 5 ou 10 cm qu'on lui fait subir une énergie de compactage normalisée à 60°C, plusieurs cycles sont appliqués 1000, 3000, 10 000, 30 000, 100 000, le résultat (profondeur d'ornièrre) est comparé à la norme (ZEMMIRI, A).

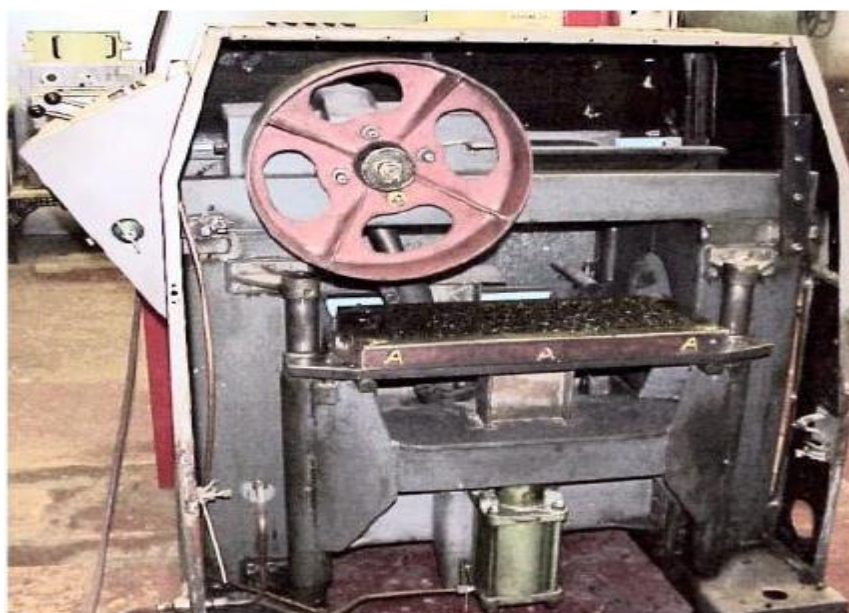


Figure 6:Simulateur de trafic avec une roue en acier

3.4.4 ESSAI DE FATIGUE (NORME EN12697-24)

Cet essai permet d'étudier le comportement des enrobés bitumineux vis-à-vis de la fissuration, il est pratiqué sur des éprouvettes de forme trapézoïdales (Figure 7). L'éprouvette est encastrée à la base, sollicités en tête en flexion sinusoïdale par déplacement imposé d'amplitude constante choisie afin de caractériser la rupture à un million de cycle.



Figure 7: Essai de fatigue

L'essai est pratiqué à 10°C et à une fréquence de 25 Hz. Il est à noter que la répétitivité des cycles de flexion alternée entraîne un endommagement de l'éprouvette (des fissures sont localisées).

Les résultats obtenus sont reportés sur un diagramme (déformation - nombre de cycles à rupture) [Figure 8] (ZEMMIRI, A).

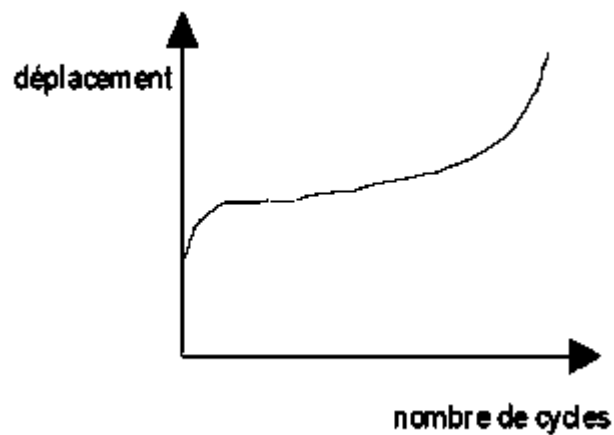


Figure 8: Exemple de diagramme [déformation - nombre de cycles à rupture]

CHAPITRE II

DEGRADATIONS DES COUCHES EN ENROBES BITUMINEUX

DEGRADATIONS DES COUCHES EN ENROBES BITUMINEUX

1. INTRODUCTION

La fissuration thermique et l'orniérage des enrobés bitumineux sont des problèmes majeurs sur le réseau routier.

Les principales sollicitations auxquelles sont soumises les structures routières sont liées aux contraintes imposées par le passage des véhicules (effet du trafic) et aux effets créés par les changements climatiques, principalement en raison des variations de température (effets thermiques) (BENEDETTO,M).

2. INFLUENCE DES ACTIONS APPLIQUEES A LA CHAUSSEE

2.1. EFFET DU TRAFIC

Chaque couche de chaussée subit des écrasements et des flexions sous l'effet du trafic (figure 9).

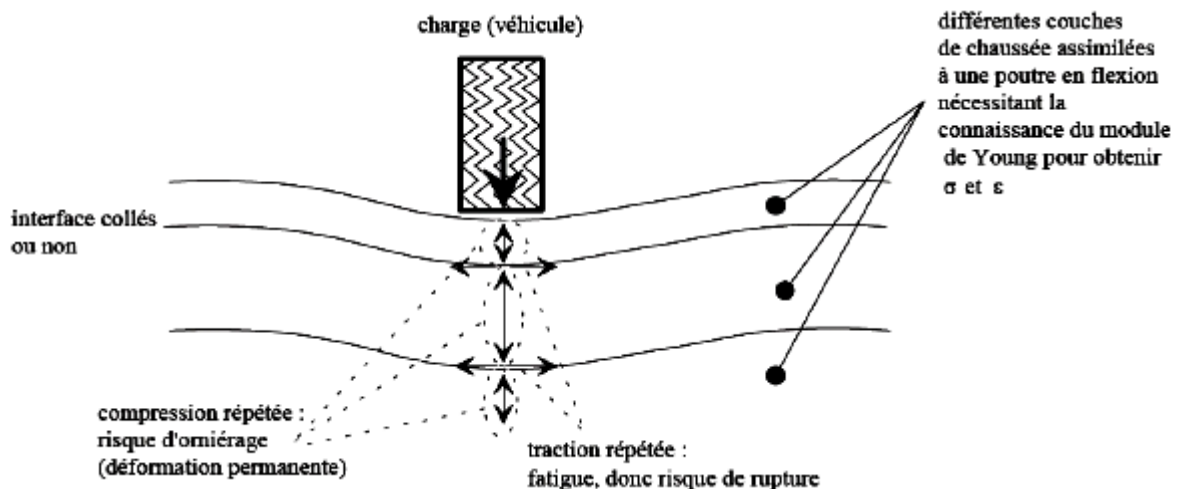


Figure 9: Schématisation des sollicitations induites par le trafic (BENEDETTO,D).

Les tractions répétées à la base des couches, sous l'effet du passage des véhicules, créent des micro-dégradations qui s'accumulent et peuvent entraîner la ruine du matériau. Il s'agit du phénomène de fatigue qui s'observe pour de nombreux matériaux. Une fissure peut également apparaître et se propager dans la chaussée.

Les compressions répétées sous le passage de la charge peuvent créer des déformations permanentes qui induisent parfois un orniérage à la surface de la

chaussée. Cet orniérage peut être dû au tassement des couches de béton bitumineux mais peut aussi être dû éventuellement aux déformations de couches inférieures non traitées (ALI,B & SHAHROUR,I & WOZNICA,K).

2.2. EFFET DE LA TEMPERATURE

La température a deux effets mécaniques principaux :

- Le changement du comportement du matériau ;
- La Création de contraintes et déformations au sein du matériau en raison des dilatations ou contractions thermiques lors des changements de température (figure 10).

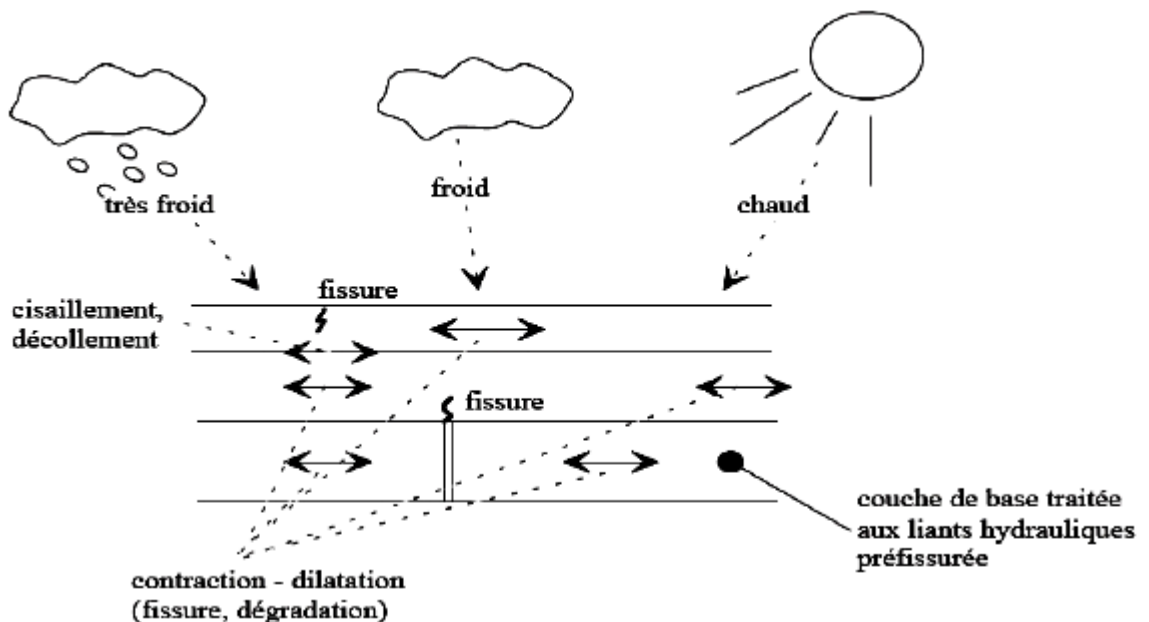


Figure 10:Schématisation des sollicitations induites par la température,

Lorsque des températures très basses sont appliquées, des fissures peuvent apparaître et se propager avec les cycles thermiques (journaliers ou autres).

- Lorsqu'une couche de base traitée aux liants hydrauliques existe dans la chaussée (structure semi-rigides), cette couche est sujette au retrait thermique, de prise et de dessiccation. Le retrait empêché par le frottement à l'interface peut provoquer une fissure dans le revêtement en enrobé

bitumineux. Cette fissure évolue avec les cycles thermiques et peut traverser la couche. Ce phénomène est connu sous le nom de « remontée de fissure» (NGUYEN,M)

3. LES PRINCIPALES DEGRADATIONS DES CHAUSSEES

Les principaux mécanismes de dégradation d'une chaussée sont énumérés comme suit :

- l'orniérage de la partie supérieure de la chaussée : déformation permanente à des températures voisines de 50°C dues aux charges répétées (figure.I.14). Ce phénomène est donc fonction de la température et du trafic,
- la fatigue liée au trafic automobile : formation de nombreuses fissures longitudinales à des températures voisines de 0°C, elle est fonction de la répétition des charges avec le temps.
- la fissuration thermique (fissuration transversale) résultant des basses températures (environ -20°C) auxquelles le liant devient cassante (EL BEZE,L).

3.1. FISSURES LONGITUDINALES

Rupture du revêtement relativement parallèle à la direction de la route, excluant les fissures de gel, en dehors des pistes de roues

Causes probables

- Joint de construction mal exécuté le long de la travée adjacente.
- Ségrégation de l'enrobé à la pose (ex. : centre de l'épandeur).
- Vieillissement du revêtement.



Figure 11:Fissures longitudinales

3.2. AFFAISSEMENT

Distorsion du profil en bordure de la chaussée ou au voisinage de conduites souterraines.

Causes probables

- Manque de support latéral et instabilité du remblai.
- Présence de matériaux inadéquats ou mal compactés.
- Zone de déblai argileux ou secteurs marécageux.
- Affouillement ou assèchement du sol support (milieu urbain).



Figure 12:Affaissement

3.3. DESENROBAGE ET ARRACHEMENT

Érosion du mastic et perte des gros granulats en surface produisant une détérioration progressive du revêtement.

Causes probables

- Usure par trafic intense.
- Sous-dosage du bitume ou mauvais enrobage.
- Compactage insuffisant.
- Surchauffe ou vieillissement de l'enrobé (oxydation et fragilisation).



Figure 13: Désenrobage et arrachement

3.4. PHENOMENE D'ORNIERAGE

Du point de vue analyse visuelle des dégradations de chaussée, l'orniérage et par définition une trace permanente creusée dans la chaussée par les roues des véhicules [DON 05].

Causes probables

- Enrobé à stabilité réduite par temps chaud (ex. : bitume trop mou ou surdosage).
- Enrobé trop faible pour bien résister au trafic lourd (ex. : fluage).
- Compactage insuffisant de l'enrobé lors de la mise en place (postcompactage).
- Usure de l'enrobé en surface (abrasion).



Figure 14: Phénomène d'orniérage (DAWSON,A & KOLISOJA,P)

CHAPITRE III

GENERALITES SUR LES FIBRES VEGETALES

GENERALITES SUR LES FIBRES VEGETALES

1. DEFINITION DE LA FIBRE VEGETALE

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante (NENONENE, A & MICHAUD, F).

2. CLASSIFICATION DES FIBRES VEGETALES

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres:

- suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (Kénafe, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abace, paille de graminée) (NENONENE, A).
- Suivant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kénafe, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) (MICHAUD, F).
- Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories : fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles. Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues (NENONENE, A).

3. MORPHOLOGIE DE LA FIBRE VEGETALE

Sur le plan morphologique, la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine. En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de

croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale (CHARLE, K).

La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles (VERVERIS, C).

Tableau 5:morphologique des fibres (CHARLE, K).

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre (μm)	Angle micro fibrillaire ($^{\circ}$)
Cotton	35	10-45	-
Lin	4-77	5-76	10
Chanvre	5-55	10-51	6.2
Kénaf	2.5-4.5	14-33	-
Jute	2.5	5-25	8
Sisal	900	8-50	20
Rami	900-1200	20-80	7.5
Noix de coco	03-1	12-24	45

La morphologie des fibres végétales peut constituer une donnée importante pour bien appréhender les transferts de contrainte aux interfaces fibre-matrice.

(Fig. 15) présente à titre d'exemple la structure torsadée d'une fibre de coton.

D'autres fibres ont des morphologies, encore plus tourmentées. La géométrie de fibres végétales est donc un problème important et difficilement surmontable pour ce qui concerne la micromécanique des composites renforcée par de telles fibres. (NARDIN,M).

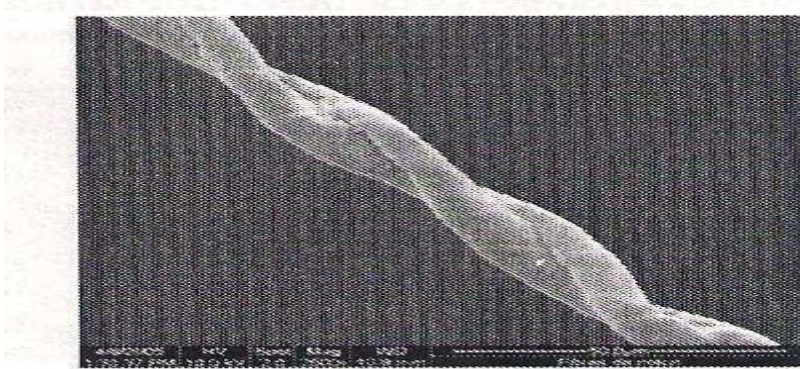


Figure 15: Photographie en microscopie électronique à balayage d’une fibre de coton

4. STRUCTURE DE LA FIBRE VEGETALE

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d’une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine (BLEDZKI, A & GASSAN, J).

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l’axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l’espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de microfibrilles (S1, S2, S3) (Fig16).

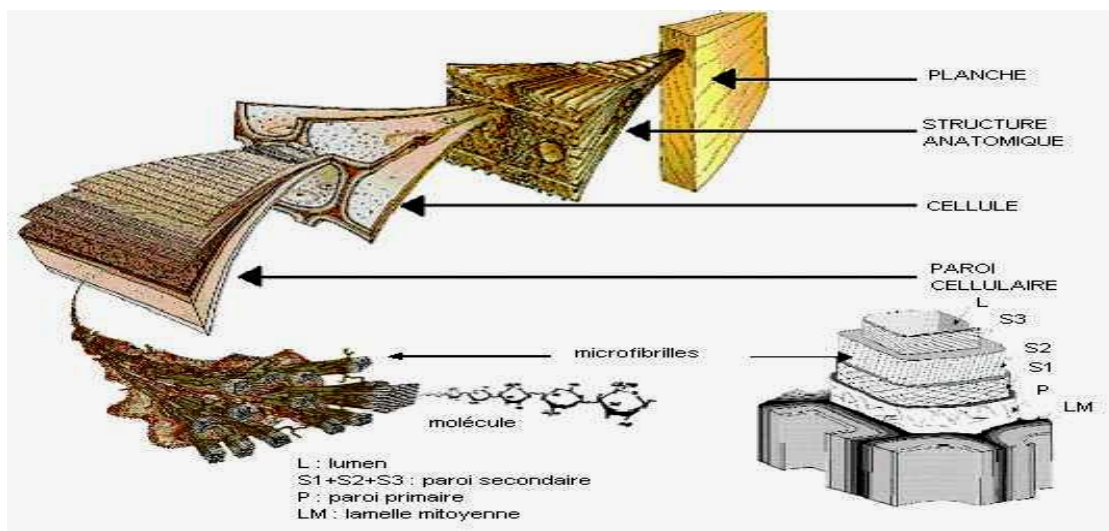


Figure 16: Structure du bois (observations multi échelles) (MICHAUD,F).

Les microfibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle microfibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des microfibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des microfibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augmente (LAURANS,F).

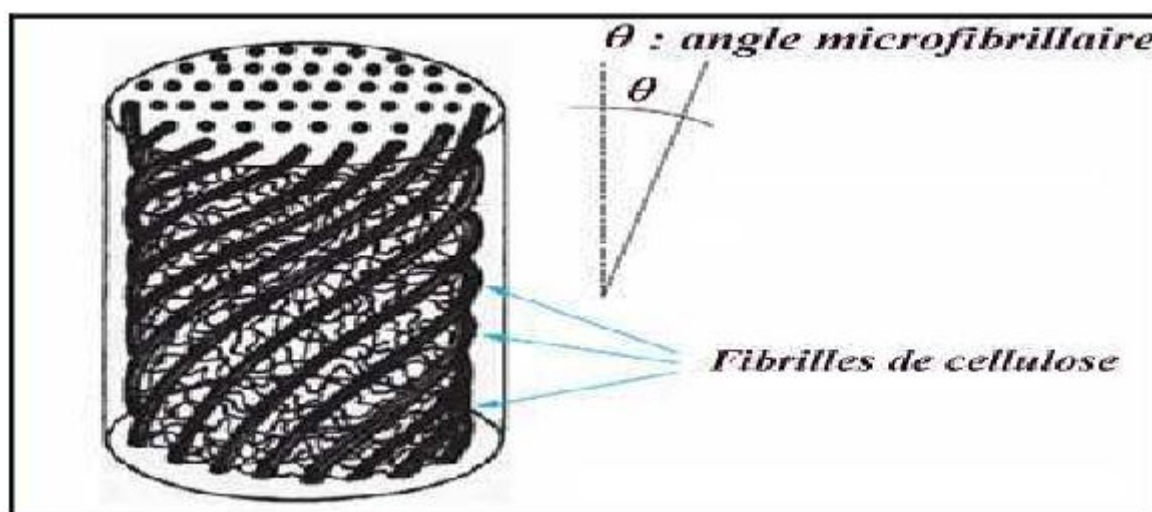


Figure 17:Modèle de description de la structure d'une fibre végétale. (BLEDZKI,A & GASSAN,J).

5. PROPRIETES MECANIKES DE LA FIBRE VEGETALE

Il est très difficile de présenter un tableau qui répertorie toutes les propriétés des fibres lignocellulosiques. La grande variabilité constitutive et anatomique de la fibre végétale implique une variabilité de leurs propriétés mécaniques.

La faiblesse de la masse volumique des fibres végétales (1,2 à 1,5 g/cm³) confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes. Les fibres longues ont des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes, du fait que les premières ont de plus grandes probabilités de contenir des défauts de formation.

La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant un module d'élasticité relativement plus élevé (90-137 Gpa), comparé à celui de la fibre de verre qui est de 75 Gp. Ainsi un index de cristallinité de la cellulose d'une fibre élevée est indicateur de propriétés mécaniques élevées.

Les fréquents défauts structuraux (Fig.18) observés de la surface des fibres sont des conséquences de la grande variabilité de morphologie, de composition chimique, de structure et de comportement mécanique spécifique de ces fibres.

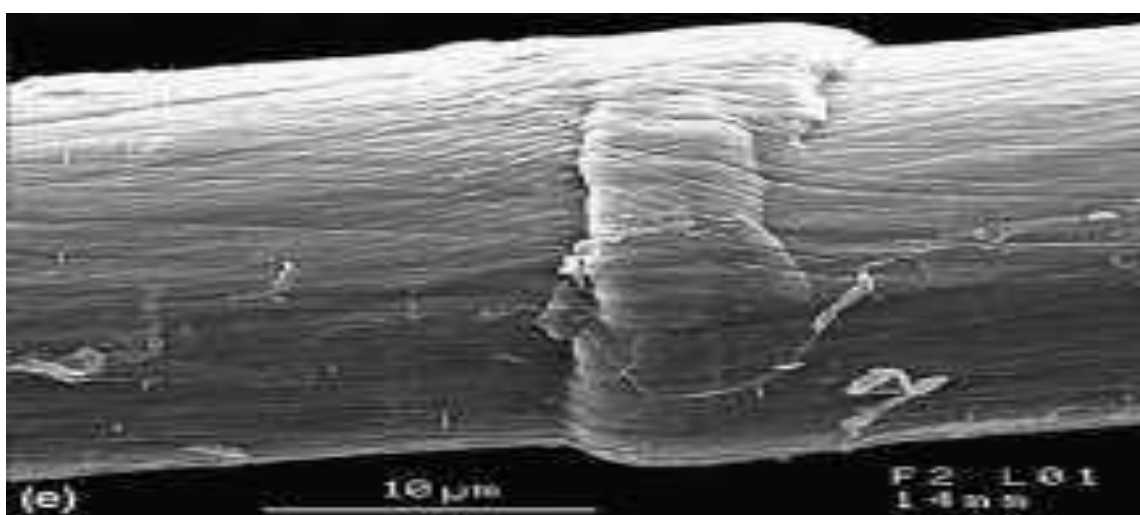


Figure 18: Exemple de défaut structural sur une fibre de lin. (CHARLE, K)

Si la sollicitation de la fibre est plus forte, la déformation de celle-ci entre dans une phase irréversible qui peut se poursuivre jusqu'à la rupture. Un angle micro fibrillaire élevé suppose une déformation élastique plus importante pour une sollicitation de la fibre en traction faible (ROWELL, R).

Le tableau 6 ci-dessous présente les propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec certaines fibres de renforcement conventionnelles

Tableau 6: Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles (BLEDZKI, A).

Fibre	Densité (g/cm ³)	Allongement(%)	Résistance à la traction (Mpa)	Module de Young (Gpa)
Coton	1.5-1.6	7.0 - 8.0	287–597	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5 - 1.8	393–773	26.5
Lin	1.5	2.7 - 3.2	345–1035	27.6
Chanvre	–	1.6	690	–
Ramie	–	3.6-3.8	400–938	61.4-128
Sisal	1.5	2.0 - 2.5	511–635	6.4-22.0
Coco	1.2	30.0	175	4.0-6.0
Verre E	2.5	2.5	2000–3500	70.0
Verre S	2.5	2.8	4570	86.0
Aramide	1.4	3.3 - 3.7	3000–3150	63.0-67.0
Carbone	1.4	1.4 - 1.8	4000	230.0-240.0

6. CONCLUSION

Comme tous les produits naturels, les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles varient considérablement. Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structurale et dépendent du type de la fibre et des conditions de croissance. La cellulose, le composant principal de toutes les fibres végétales, varie d'une fibre à une autre.

CHAPITRE IV

ESSAIS ET NOTIONS SUR LE MODULE DES ENROBES BITUMINEUX

ESSAIS ET NOTIONS SUR LE MODULE DES ENROBES BITUMINEUX

1. INTRODUCTION

Jusqu'à présent, la capacité d'effectuer des tests répétitifs de charge, a souvent constitué le fardeau majeur des laboratoires en raison du coût et de la complexité de l'équipement requis. On notera que les recherches effectuées à l'Université de Nottingham au cours des années 1980 dans l'application de la charge pneumatique et des systèmes de commande numériques ont conduit au développement de la Nottingham Asphalt Tester (NAT) (Cooper et Brown, 1989 et 1993).

2. DESCRIPTION DE L'APPAREIL NOTTINGHAM ASPHALTE TESTER(NAT)

Dans ce système, il est nécessaire d'avoir la fourniture d'air comprimé pour un actionneur pneumatique qui est régie par une électrovanne. Le fonctionnement de cette soupape est commandée par un micro-ordinateur compatible IBM PC via un convertisseur numérique-analogique.

La charge appliquée à un spécimen et les déformations qui en résultent, sont observés par une cellule de mesure de contrainte et des Transformateurs différentiels linéaires variables, les résultats de LVDT respectivement, et les sorties de ces appareils sont acquis par l'ordinateur via une interface analogique-numérique. Le vérin pneumatique est capable d'appliquer une charge atteignant 4,2kN et peut enregistrer des déformations transitoires aussi faibles de l'ordre de 01 micron.

L'utilisation de commande et d'acquisition de donnée par micro-ordinateurs et grâce à l'utilisation d'un logiciel approprié, permet aussi bien une flexibilité considérable dans l'application de la charge que la possibilité d'acquérir des données en continu et automatiquement dans un test. L'avantage des systèmes pneumatiques est leur faible coût par rapport aux appareils servo-hydraulique, mais la précision dans le contrôle d'application de charge est diminuée. Le NAT a été conçu pour s'adapter à un certain nombre de modules différents pour mesurer les propriétés des matériaux bitumineux en utilisant des éprouvettes cylindriques.

La figure 19 montre, de façon schématisée, la constitution de l'équipement pour les tests de déformation permanente. La déformation axiale permanente est monitorée avec le LVDT attaché directement à la partie supérieure du plateau supérieur de chargement. Le test est effectué sur des échantillons cylindriques (moulé ou fourré), dont les extrémités sont préparées par des coupes avec une scie diamantée.

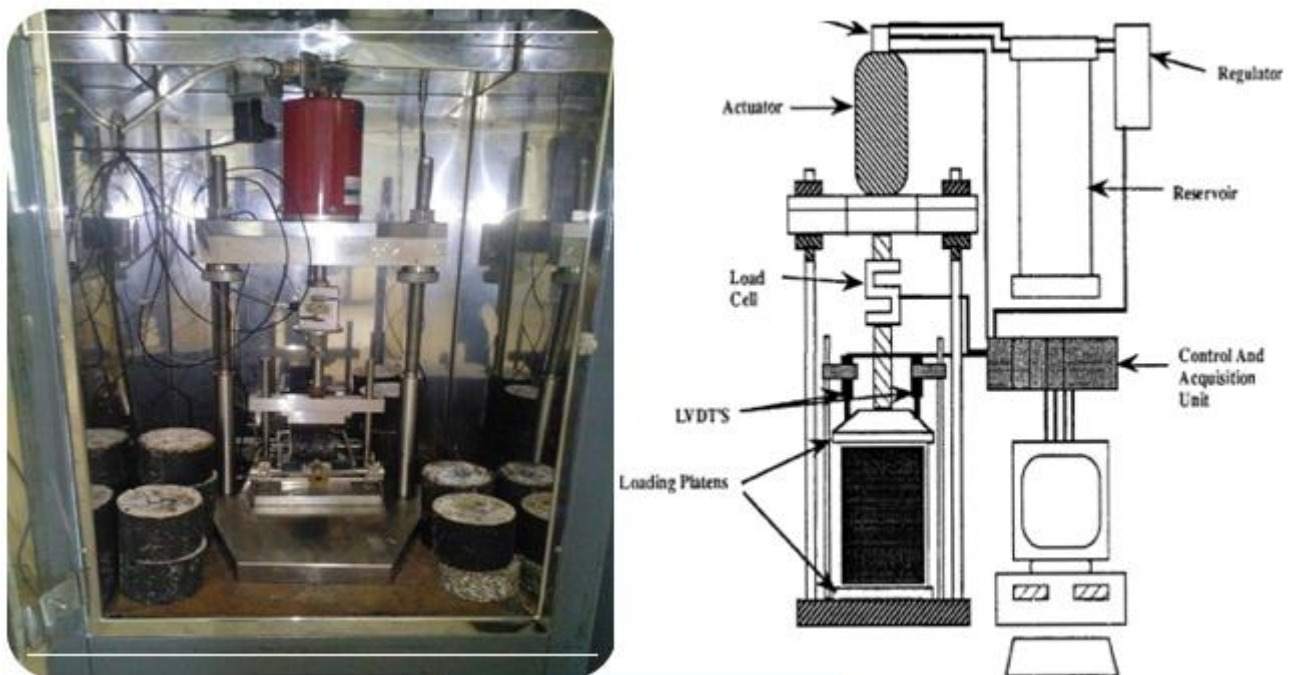


Figure 19: Nottingham Asphalt Tester

3. APPAREILLAGE

3.1. COMPOSITION DE L'OUTILLAGE

- **Thermomètre et/ou thermocouples et/ou capteurs de résistance en platine**, d'une étendue de mesure adaptée, capables de mesurer à $\pm 0,1$ °C la température de l'éprouvette et des conditions de stockage et d'essai.
- **Règle en acier**, avec des graduations de 1mm.
- **Règle de précision**.
- **Pieds à coulisse externes**, capables de mesurer à $\pm 0,1$ mm.
- **Plaque de verre ou d'acier**, avec un état de la surface supérieure de la plaque ne

déviant pas en planéité d'une tolérance supérieure à 0,05 mm sur la largeur de la plaque.

Note : Une taille adaptée est d'environ 250 mm × 250 mm.

- **Support**, capable de maintenir un cylindre du matériau d'essai lors du découpage des éprouvettes.
- **Scie**, capable de couper et d'ajuster des éprouvettes aux dimensions requises.

Note: Une lame de scie à pointe diamant est recommandée.

3.2. APPAREILLAGE D'ESSAI

A. Cadre de chargement en acier.

Note : Un exemple adapté est illustré en **Figure 10**

B. Deux bandes de chargement en acier inoxydable, conformes au Tableau 7 la face en contact avec l'éprouvette doit être concave et occuper la hauteur entière de l'éprouvette. Les bords des bandes de chargement doivent être arrondis pour éviter de marquer l'éprouvette pendant les essais. Un moyen pour centrer la platine inférieure par rapport à l'axe de charge du cadre de chargement en acier doit être fourni. La platine supérieure doit entrer en contact avec le système de chargement par une rotule.

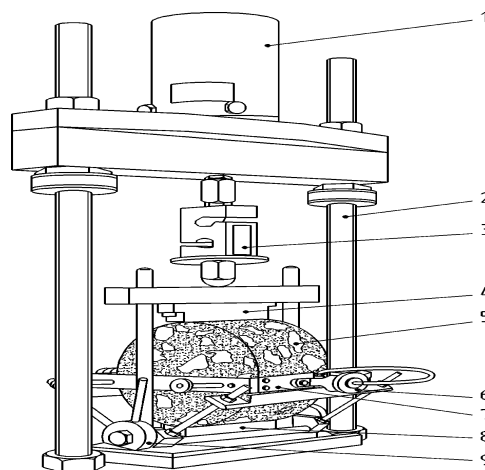


Figure 10: Schéma global de l'appareillage d'essai.

1	Vérin de chargement	6	Réglage LVDT
2	Cadre de chargement	7	Châssis de montage LVDT
3	Peson	8	Platine de chargement inférieure
4	Platine de chargement	9	Châssis d'alignement LVDT
5	Éprouvette soumise à		

Tableau 7:Dimensions des bandes de chargement

Diamètre d'éprouvette nominal (mm)	Largeur de bande de chargement (mm)	Profondeur nominale de la concavité (mm)
80	10 ± 1	$0,3 \pm 0,05$
100	12 ± 1	$0,4 \pm 0,05$
120	15 ± 1	$0,5 \pm 0,05$
150	19 ± 1	$0,6 \pm 0,05$
200	25 ± 1	$0,8 \pm 0,05$

3.3. SYSTEME DE CHARGEMENT

A. Il est doté d'un un vérin de chargement adapté, à l'aide duquel une charge peut être appliquée le long du diamètre vertical de l'éprouvette, via les platines de chargement. Le vérin de chargement doit être capable d'appliquer des impulsions de chargement répétées alternant avec des périodes de repos. La charge doit avoir la forme d'une onde de choc s (Figure21). On notera que le temps de charge doit être contrôlé pendant l'essai.

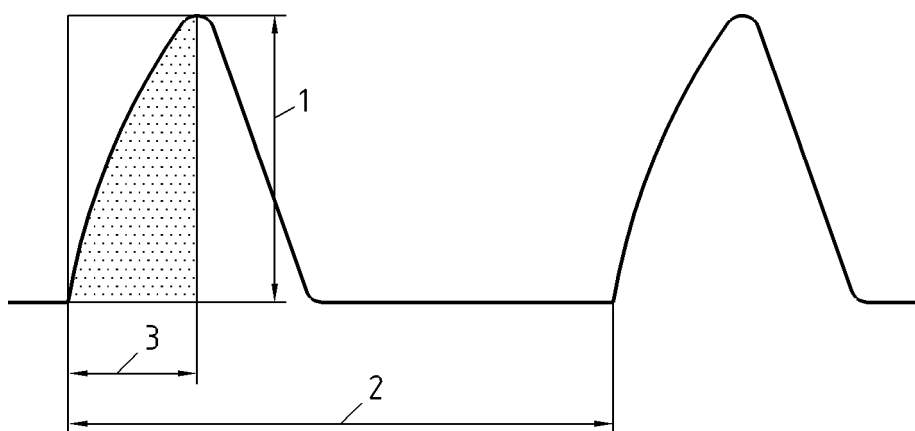


Figure 21:Forme de l'impulsion de chargement, indiquant le temps de montée et la valeur crête de charge

Légende

- 1- Valeur crête de la charge
- 2- Période de répétition des impulsions
- 3- Temps de montée

B. Le temps de montée, mesuré à partir du début de l'impulsion de chargement et qui est le temps nécessaire à l'application de la charge pour passer de zéro à la valeur maximale, doit être de (124 ± 4) ms. La valeur crête de chargement doit être définie pour obtenir une valeur crête de déformation horizontale transitoire visée de 0,005 % du diamètre de l'éprouvette.

Note: Pour obtenir ce résultat, la hauteur du coulisseau peut nécessiter un ajustement.

C. La charge appliquée doit être mesurée, à l'aide d'un peson avec une exactitude de 2 %. La période de répétition des impulsions (voir Figure 21) doit être de $(3,0 \pm 0,1)$ s.

D. Le facteur de surface de charge doit être le rapport entre la surface hachurée dans la Figure III.3 et le produit du temps de montée et de la valeur crête de la charge. Quand ce facteur s'écarte de 0,60, le module de rigidité mesuré est corrigé à l'aide de la méthode décrite précédemment.

- **NOTE 1 :** Le facteur de zone de charge recommandé est de 0,60.
- **NOTE 2 :** Le temps de montée en charge recommandé est de (124 ± 4) ms, mais d'autres temps de montée en charge peuvent être utilisés. L'impulsion de charge appliquée est sélectionnée pour atteindre une déformation horizontale de crête instantanée. L'expérience indique que des valeurs adaptées à la déformation horizontale de crête sont de (7 ± 2) μm pour une éprouvette de diamètre nominal de 150 mm et de (5 ± 2) μm pour une éprouvette d'un diamètre nominal de 100 mm, bien que, avec certains matériaux, d'autres valeurs de déformation horizontale en crête puissent être requises pour générer une charge et une réponse à la déformation appropriées.
- **NOTE 3 :** Quand le module de rigidité d'un matériau est relativement élevé, le temps de charge court, ou la température d'essai basse, la capacité du système de chargement peut être insuffisante pour générer la charge et la déformation horizontales spécifiées. Dans ce cas, un échantillon de diamètre réduit ou une épaisseur d'échantillon réduite peuvent être requis.

E. Annulus en acier : a un diamètre extérieur de (100 ± 5) mm ou (150 ± 5) mm. La largeur maximale de l'annulus doit être de 70 mm et le diamètre intérieur doit permettre de simuler un module de rigidité à la traction indirecte effectif entre 1 500 MPa et 3 000 MPa.

Nota: L'annulus en acier peut être équipé d'un cadre avec des pinces réglables pour les transducteurs différentiels variables linéaires et un système intégré pour transmettre la charge appliquée le long du diamètre vertical de l'annulus.

Système de mesure de déformation

Le système de l'appareillage est capable de mesurer la déformation diamétrale horizontale transitoire de l'éprouvette pendant l'application d'une impulsion de charge. L'exactitude de la mesure doit être supérieure à $1 \mu\text{m}$ sur une étendue de $\pm 50 \mu\text{m}$. La déformation horizontale de crête enregistrée doit être l'amplitude de la variation du diamètre horizontal de l'éprouvette.

- **NOTE 1 :** Une disposition adaptée pour mesurer la déformation diamétrale horizontale est illustrée (Figure.III.3). Deux LVDT (Linear Variable Différentiel Transformers) sont montés face à face sur un cadre rigide fixé sur l'éprouvette (voir Figure III.4). Pendant l'essai, le cadre doit être soutenu uniquement par des pinces, et ne doit être en contact avec aucune autre partie de l'appareillage.
- **NOTE 2 :** Pour minimiser la déformation du cadre, un appareil de mesure du couple peut être utilisé, lors du serrage des pinces.
- **NOTE 3 :** Il peut être nécessaire d'utiliser des LVDT à extrémité à disque pour soumettre à essai des matériaux grenus.

Une chaîne d'enregistrement

Comprenant une unité à interface numérique connectée à un micro-ordinateur, qui doit surveiller et enregistrer les signaux électriques des capteurs de charge et de déformation. La fréquence d'acquisition de données doit être telle que, pendant

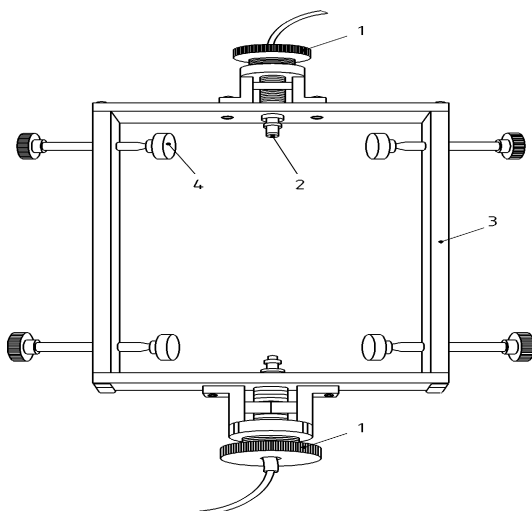
l'application d'une impulsion de charge, le signal de chaque capteur doit être lue à une fréquence d'au moins 500Hz.



Figure 22:Chaîne d'enregistrement

Enceinte à température constante

L'enceinte est constituée d'une armoire ou d'une pièce adaptée avec circulation d'air forcée, dans laquelle l'éprouvette peut être conditionnée et dans laquelle l'essai peut être effectué



Légende

- 1 Réglage LVDT
- 2 LVDT
- 3 Châssis de montage LVDT2
- 4 Pinces de fixation

Figure 23:Dispositif de mesure de la déformation diamétrale horizontale

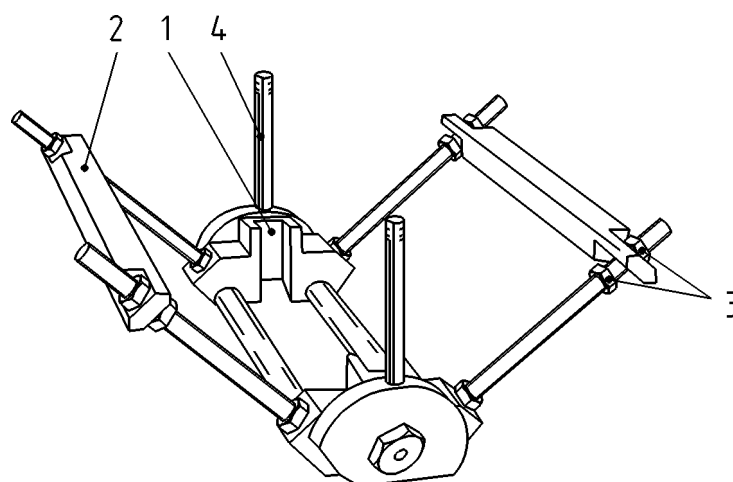


Figure 24: Châssis d'alignement LVDT

Légende

- 1 Canal de centrage du châssis de charge
- 2 Châssis d'alignement de châssis LVDT
- 3 Écrous de réglage de barre d'alignement
- 4 Levier de libération de barre d'alignement

4. PREPARATION DE L'ÉPROUVETTE

Mode opératoire

A. Les éprouvettes cylindriques doivent avoir une épaisseur comprise entre 30 mm et 75 mm et un diamètre nominal de 80 mm, 100 mm, 120 mm, 150 mm ou 200 mm. Les deux dimensions doivent être choisies par rapport à la dimension maximale nominale du mélange.

NOTE 1 : Il est recommandé que l'épaisseur de l'éprouvette soit aussi proche que possible de l'épaisseur de la couche, mais sans dépasser 75 mm ni être inférieure à 30 mm.

NOTE 2 : Des corps d'épreuve peuvent être carottés dans une couche de chaussée compactée, ou dans des plaques compactées en laboratoire, ou peuvent être préparés en laboratoire dans des moules adaptés. Cependant, il ne peut être inféré que des

épreuves préparées en laboratoire donneront des résultats identiques à ceux obtenus sur des éprouvettes extraites d'une couche de chaussée compactée.

B. Chaque carotte doit avoir le diamètre nominal à ± 5 mm. À l'aide de la scie, chaque carotte de matériau soumise à essai doit être ébarbée pour former un cylindre droit nominal. Toute particule plaquée par projection doit être enlevée de la surface de la carotte par affleurement. Le cylindre doit être maintenu dans le support et scié en tranches d'une épaisseur de 30 mm à 75 mm, chaque tranche constituant une éprouvette.

NOTE 3 : L'interface entre les couches de chaussée ou la surface d'une éprouvette est à éviter. Si des traces de l'interface ne peuvent être éliminées, l'éprouvette à soumettre à essai n'est pas homogène et doit être ignorée ou ce fait consigné dans le rapport d'essai.

C. L'épaisseur de chaque éprouvette doit être mesurée conformément à EN 12627-29.

D. À l'aide d'un marqueur adapté, dessinez un diamètre sur l'une des faces plates de l'éprouvette. Un second diamètre doit être dessiné à $(90 \pm 10)^\circ$ du premier. Les deux diamètres doivent être repérés de manière adaptée.

Conditions de stockage

Si la période de stockage est inférieure à 4 jours, la température de stockage ne doit pas dépasser 25 °C. Pour un stockage supérieur à 4 jours, la température ne doit pas dépasser 5 °C. Les températures et les durées de stockage doivent être consignées. Les éprouvettes doivent être stockées sur une face plate et ne doivent pas être empilées.

5. MODE OPERATOIRE

5.1 CONDITIONNEMENT ET TEMPERATURE D'ESSAI

L'éprouvette doit être placée dans un environnement à température contrôlée et suivie jusqu'à ce qu'elle atteigne la température d'essai. La température de l'éprouvette doit être déterminée en plaçant une éprouvette factice, équipée de thermocouples ou de capteurs avec résistance en platine à la surface et au centre, à proximité de l'éprouvette.

La température de l'éprouvette factice doit être surveillée jusqu'à ce que les mesures indiquent que l'éprouvette a atteint la température d'essai et l'écart de température entre l'extérieur et le centre ne dépasse pas 0,4 °C.

La moyenne de ces températures doit être notée en tant que température réelle de l'éprouvette, 01. L'éprouvette est ensuite placée au point d'essai, et l'essai est effectué. Pour s'assurer que la température est correcte au point d'essai, une seconde éprouvette factice, nominalement identique à celle décrite ci-dessus, doit être maintenue à proximité du point d'essai. Les températures de chaque thermocouple ou capteur avec résistance en platine doivent être enregistrées avec une exactitude de $\pm 0,1$ °C.

B. La température moyenne des thermocouples ou capteurs avec résistance en platine dans la seconde éprouvette factice doit être dans l'intervalle $01 \pm 0,2$ °C à condition que l'éprouvette soit soumise à essai dans un délai de 10 min entre son transfert de l'enceinte de conditionnement (si utilisée) à l'enceinte d'essai.

C. La température d'essai doit être à $\pm 0,5$ °C de la température cible.

NOTE 1 : Les températures d'essai recommandées pour les essais de routine sont + 2 °C, + 10 °C et 20 °C ; cependant, d'autres températures d'essai peuvent être utilisées. À des températures d'essai supérieures, certains mélanges peuvent présenter une déformation excessive menant à un effondrement.

NOTE 2 : Il est recommandé que les éprouvettes factices aient des dimensions et une composition similaires aux éprouvettes et soient évidées, en utilisant une perceuse adaptée, de la surface jusqu'au centre de l'éprouvette. Il est recommandé qu'un thermocouple ou un capteur à résistance en platine soit inséré, afin que l'embout soit situé au centre de l'éprouvette et l'orifice scellé au moyen d'un mastic composé adapté ou un joint en silicone. Il est recommandé que l'embout du second thermocouple ou capteur à résistance en platine soit fixé à la surface courbe à peu près diamétralement opposée du trou de perçage (de la bande adhésive et un joint torique ont été considérés adaptés aux besoins de fixation).

NOTE 3 : Il est suggéré que huit éprouvettes factices soient requises pour couvrir la plage normale des matériaux. Deux de diamètre 100 mm formule discontinue ; deux 100 mm de diamètre formule continue, deux de diamètre 150 mm formule discontinue et deux de 150 mm de diamètre formule continue. Chacune de ces huit éprouvettes est équipée de deux thermocouples ou capteurs à résistance en platine.

NOTE 4 : Les éprouvettes peuvent être stockées, conditionnées et soumises à essai dans la même enceinte lorsque ceci répond à l'exigence du laboratoire.

5.2 MONTAGE DE L'ÉPROUVETTE

A. Les platines de chargement doivent être nettoyées à l'aide d'un solvant si nécessaire.

B. Après avoir porté l'éprouvette à la température spécifiée, l'éprouvette doit être montée pour l'essai avec l'un des diamètres marqués placé verticalement. La procédure de montage, incluant le réglage des capteurs et de la chaîne de mesure, doit être conforme aux instructions du fabricant.

NOTE 1 : Lors du réglage de la hauteur du coulisseau, l'exigence consiste à obtenir une charge de crête définie à un temps de montée cible. La forme de l'impulsion de charge est influencée par le module de rigidité et la taille de l'éprouvette soumise à essai. La hauteur du coulisseau devrait être réglée pour obtenir un facteur de surface de charge de $(0,60 \pm 0,10)$. Pour des essais de routine, le facteur de surface de charge cible est de 0,60.

NOTE 2 : Il est important, dans le cas des LVDT, que le cadre de montage soit appliqué de manière égale et fermement sur l'éprouvette. Veillez à éviter le serrage excessif des couteaux. Pour ce faire, appliquez un couple constant à chacun des couteaux de fixation.

5.3 MESURE DE RIGIDITE

A. Conditionnement des impulsions de chargement :

Au moins 10 impulsions de conditionnement doivent être appliquées pour permettre à l'appareillage de caler la magnitude de la charge et sa durée pour produire la déformation diamétrale horizontale et le temps de chargement visés.

B. Mesure de la déformation :

Si nécessaire, les appareils de mesure de déformations doivent être réglés approximativement dans la partie centrale de leurs étendues de fonctionnement. Cinq impulsions de chargement supplémentaires doivent être appliquées à l'éprouvette et, pour chaque application d'impulsion de chargement, la variation de la déformation diamétrale horizontale et de la charge appliquée dans le temps doit être mesurée et consignée, et le facteur de surface de charge déterminé.

Le coulisseau doit être positionné pour que le facteur de surface de charge soit dans l'intervalle 0,50 à 0,70. Si ce positionnement n'est pas réalisé, l'éprouvette doit être rejetée, ainsi que les résultats. La cible recommandée pour le facteur de surface de charge est de 0,60.

NOTE 1 : Si la déformation diamétrale horizontale est inférieure à 3 µm ou supérieure à 20 µm, soit la température de d'essai soit la méthode d'essai est inadaptée.

NOTE 2 : Si la contrainte verticale est inférieure à 0,5 kN, soit la température d'essai soit la méthode d'essai est inadaptée.

C. Calcul du module de rigidité mesuré :

À l'aide des mesures des 5 impulsions de chargement, le module de rigidité mesuré doit être déterminé pour chaque impulsion de chargement à l'aide de la formule suivante.

$$S_m = \frac{F + (v + 0,27)}{(z + h)} \dots \dots \dots (III. 1)$$

où :

S_m : est le module de rigidité mesuré, exprimé en méga pascals (MPa).

F : est la valeur crête de la charge verticale appliquée, exprimée en Newtons (N).

z : est l'amplitude de la déformation horizontale obtenue pendant le cycle de chargement, exprimée en millimètres (mm).

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

ν : est le coefficient de Poisson.

Si le coefficient de Poisson n'est pas déterminé, une valeur de 0,35 doit être prise au pifomètre pour toutes les températures.

Le module de rigidité mesuré doit être corrigé ramené à un facteur de surface de charge de 0,60 à l'aide de la formule suivante.

$$S'_m = S_m \times (1 - 0,322 \times (\log(S_m) - 1,82) \times (0,60 - k)) \dots \dots \dots (III. 2)$$

S'_m : est le module de rigidité, exprimé en méga pascals (MPa), corrigé ramené à un facteur de surface de charge de 0,60.

k : est le facteur de surface de charge mesuré.

S_m : est le module de rigidité mesuré en méga pascals (MPa) à un facteur de charge k , exprimé en degrés Celsius (°C).

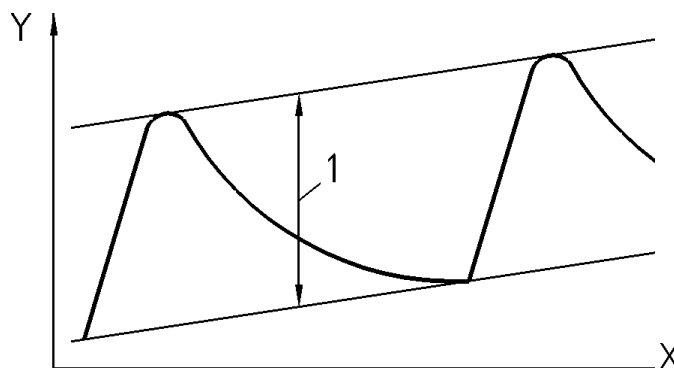


Figure 25: Amplitude de déformation

Légende

- 1 Temps
- 2 Déformation
- 3 Amplitude de déformation

D. Module de rigidité de l'éprouvette

L'éprouvette doit être démontée de l'appareillage d'essai, tournée de $(90 \pm 10)^\circ$ autour de son axe horizontal et remontée selon la procédure d'essai décrite précédemment. L'essai et le calcul sont reproduits de la même manière.

Si la valeur moyenne du module de rigidité de cet essai est entre + 10 % et - 20 % de la valeur moyenne enregistrée pour le premier essai, la moyenne pour les deux essais doit être calculée et notée en tant que module de rigidité de l'éprouvette.

Si la différence entre les deux valeurs est supérieure à celle spécifiée ci-dessus, les résultats doivent être rejetés.

À la fin de l'essai, aucun essai supplémentaire sur l'éprouvette de cette norme ne doit être effectué pendant 24 h.

6. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons donné les différentes notions sur le module des enrobés bitumineux, grâce à l'essai effectué par l'appareil nottingham asphalte tester (NAT). Nous noterons aussi qu'à partir de ces essais nous déterminons le *module de rigidité pour chacune des éprouvettes*.

Ce chapitre est très important quant à la présentation du principe de l'essai au 'NAT' qui nous servira dans notre partie expérimentale de notre propre recherche

CHAPITRE V

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

1. EXPOSITION DES TRAVAUX DE MERKHOUI SUR LES DEFORMATIONS RHEOLOGIQUES DU BETON RENFORCE PAR LES FIBRES DU PALMIER DATTIER

Dans le cadre d'un mémoire de Magistère MERKHOUI a entrepris un travail de comportement et l'étude des phénomènes rhéologiques (retrait et fluage) des bétons renforcés par des fibres du palmier dattier.

La composition du béton utilisé est détaillée sur le tableau suivant :

Tableau 8:Composition de béton de fibres de palmier dattier (MERKHOUI).

Les composants	Dosage	Provenance
Ciment CPJ 45	400 kg/m ³	Usine Ain Toutta- Algérie
Sable	774.60 kg/m ³	Hassi Sayeh-Ouargla- Algérie
Gravier	1105.88 kg/m ³	Haoud Elhamra-Ouargla- Algérie
Eau	200 l/ m ³	Eau potable -Ouargla- Algérie
Fibres	0.2 à 0.5%(dosage massique)	Palmier dattier – Ouargla

1.1 RESULTATS

a. Essai de retrait

MERKHOUI trouve que le retrait final diminue avec l'augmentation de la longueur des fibres après 28 jours; quoique les retraits de béton de fibres se rapprochent, ils restent inférieurs au béton témoin.

Avec le pourcentage 0.5 et la longueur 6 cm, le retrait du béton de fibre est supérieur au retrait du béton témoin. Par contre, les autres bétons de fibres présentent un retrait inférieur au béton témoin.

b. Essai de fluage

Parmi les études de MERKHOUI sur le béton renforcé par les fibres de palmier dattier avec un pourcentage massique de 0.4%, il fait varier la longueur des fibres de 02 à 08 cm avec un pas de 02 cm), MERKHOUI affirme que la longueur n'a pas une grande influence sur le fluage.

2. EXPOSITION DES TRAVAUX DE KRIKER SUR LE RETRAIT DE MORTIERS RENFORCES PAR LES FIBRES DU PALMIER DATTIER

Dans sa thèse de Doctorat d'état, KRIKER a entrepris un travail sur le comportement du mortier renforcé par les fibres du palmier dattier vis à vis du retrait.

Le mortier de fibre est composé comme l'indique le tableau 4-4, d'un ciment de type CPA-CEM I, un sable normalisé, et des fibres de surface du palmier mâle

Tableau 9 : La composition de mortier de fibres de palmier dattier par moule (KRIKER).

Type de Mortier	% en vol. de fibres	Longueur de fibre (mm)	Ciment (g)	Sable (g)	Fibre (g)	Eau Totale (g)	Temps d'écoulement (s)
MF	1.00	15.00	450.00	1343.09	6.91	238.50	8±2
		60.00				247.50	
	3.00	15.00		1329.63	20.37	270.00	
		60.00				292.50	
	6.00	15.00		1308.54	41.46	301.50	

2.1. RESULTATS

Les retraits les plus inférieurs sont obtenus pour 1% en fibre.

3. EXPOSITION DES TRAVAUX DE DELGADO SUR COMPORTEMENT MECANIQUE A LA FATIGUE D'ENROBES BITUMINEUX RENFORCES DE FIBRES VEGETALES

Dans sa thèse de Doctorat, DELGADO Horacio a entrepris un travail sur Comportement mécanique à la fatigue d'enrobés bitumineux renforcés de fibres végétales

3.1. RESULTATS

L'incorporation de fibres végétales de 1cm et 7cm de longueur n'améliorent pas le comportement à la fatigue des enrobés bitumineux.

L'enrobé bitumineux renforcé de fibres végétales de 5cm de longueur et une concentration de 0,4% a présenté une amélioration de la vie à la fatigue dans tout la plage de contraintes évaluées. Ce mélange présente une amélioration de 100 % de la vie de fatigue.

L'incorporation des fibres végétales dans les enrobés bitumineux réduit l'énergie dissipée pendant l'essai de fatigue. Les enrobés renforcés présentent ruptures du type fragile.

CHAPITRE VI

CARACTERISATION DES COMPOSANTS

CARACTERISATION DES COMPOSANTS

GRANULATS

1. PROVENANCE DES MATERIAUX

Les granulats utilisés dans le cadre de la présente étude sont les fractions couramment utilisées en Algérie pour la fabrication des enrobes bitumineux destinées aux couches de roulement.

La provenance des fractions granulaires 0/3, 3/8, 8/15 sont reportées dans le tableau6.

Tableau10 :Provenance des granulats utilisés

Matériau	Carrières
Sable 0/3	Ain-Touta (Batna).
Gravier 3/8	Ain-Touta (Batna).
Gravier 8/15	Ain-Touta (Batna).



Sable 0/3



Gravier 3/8



Gravier 8/15

Figure 26: Fractions granulaires 0/3, 3/8 et 8/15 utilisées

2. IDENTIFICATION DES CONSTITUANTS

2.1. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES DES GRANULATS

Afin de déterminer les caractéristiques intrinsèques des granulats, les essais suivants ont été réalisés :

- La masse volumique réelle (NA 255).
- La résistance aux chocs : essai LOS ANGELES (NA 5130).
- La résistance à l'usure en présence d'eau : essai MICRO-DEVAL (NA 5129).

Les résultats sont donnés par le tableau 7 :

Tableau 11:Caractéristiques intrinsèques des granulats

Essais	Référence	0/3	3/8	8/15
Masse volumique réelle [t/m ³]	NA 255	2,67	2,68	2,68
LA [%]	NA 5130	-	21.4	24.92
MDE [%]	NA 5129	-	8	6.74

Commentaire : Du point de vue caractéristiques intrinsèques des granulats, les résultats obtenus en fonction de leur utilisation en béton bitumineux et en grave bitume sont conformes aux spécifications de la classe « C » de la norme NF P 18 - 545.

2.2. CARACTERISTIQUES DE FABRICATIONS DES GRANULATS

Pour ce qui est des caractéristiques de fabrication des granulats, les essais suivants ont été réalisés :

- L'analyse granulométrique (NA 2607).
- L'essai d'aplatissement (NA 256).

Les résultats de ces essais sont regroupés dans le tableau 8.

Tableau 12:Caractéristiques de 'fabrication' des agrégats

SABLE 0/3	Essais		Résultats	Spécifications
	Analyse Granulométrique	Tamis	Tamisât (%)	Limite (NFP 18-545)
		2D	100	100.00
		1,4 D	98	98 - 100
	D	91	85 - 99	
Gravillon 3/8	Essais		Résultats	Spécifications
	Coefficient d'aplatissement (%)		17.92%	≤ 25
	Analyse Granulométrique	Tamis	Tamisât (%)	Limite (NF P 18-545)
		2D	100	100.00
		1,4 D	100	98 - 100
		D	98	85 - 99
		D/1,4	76	25 - 80
		D	26	0 - 20
		d/2	11	≤ 5
Gravillon 8/15		Essais		Résultats
	Coefficient d'aplatissement (%)		14.518%	≤ 25
	Analyse Granulométrique	Tamis	Tamisât (%)	Limite (NF P 18-545)
		2D	100	100
		1,4 D	100	98 - 100
		D	99	80 - 99
		D	23	0 - 20
		d/2	1.96	≤ 5

Commentaires :

Pour ce qui est des caractéristiques de 'fabrication' des granulats, les résultats sont conformes aux spécifications exigées vis-à-vis de la forme, la granulométrie et la teneur en fines, à l'exception de la teneur en fines de la fraction 3/8 où le pourcentage est supérieur à la valeur exigée. Ces caractéristiques de fabrication les classent dans la catégorie « IV ». Les caractéristiques de fabrication du sable le classent dans la catégorie « a ».

De ce fait, les granulats analysés peuvent être utilisés dans la confection d'un béton bitumineux semi grenu et d'un grave bitume.

Les résultats de l'analyse granulométrique de chaque fraction sont donnés dans la figure 27.

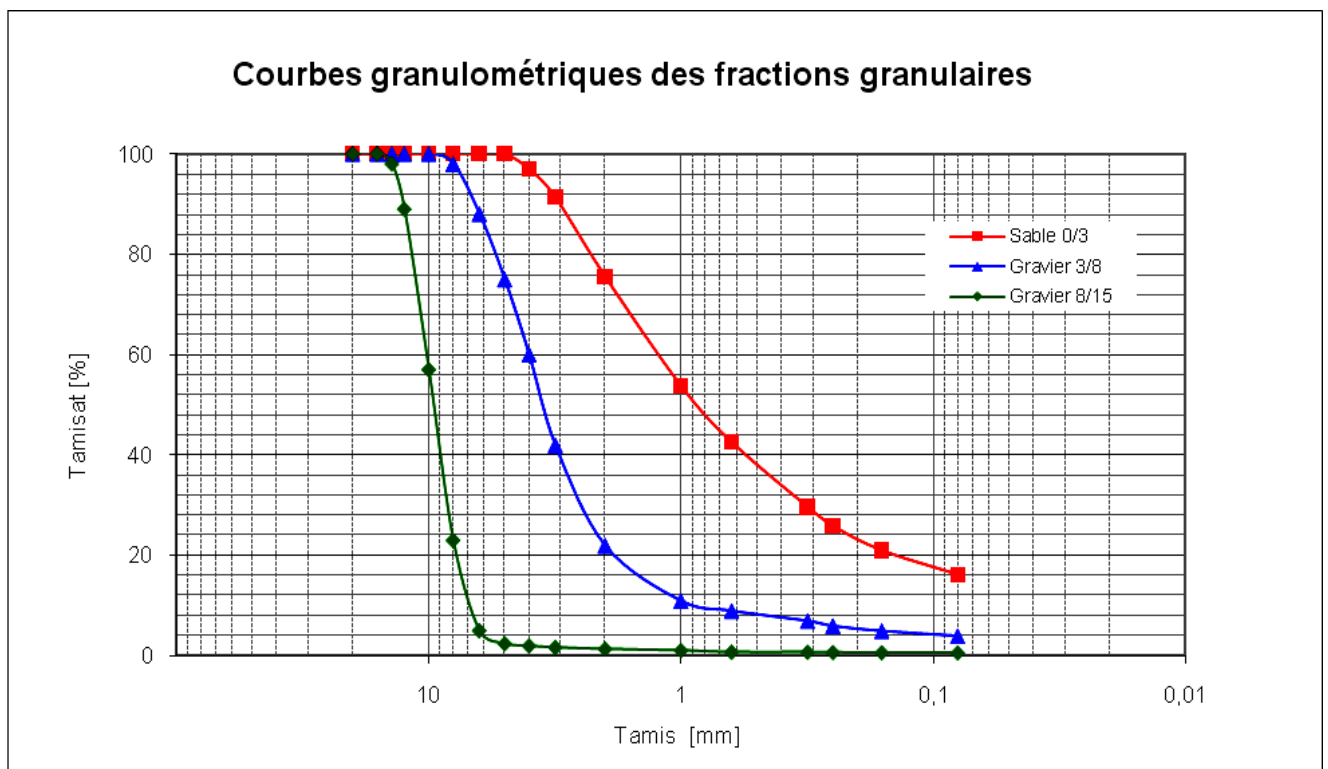


Figure 27: Courbes granulométriques des fractions granulaires

Tableau 13: Résultats de l'analyse granulométrique

Tamis (mm)	0/3 (%)	3/8 (%)	8/15 (%)
40	100	100	100
31.5	100	100	100
25	100	100	100
20	100	100	100
16	100	100	100
14	100	100	98
12.5	100	100	89
10	100	100	57
8	100	98	23
6.3	100	88	5
5	100	75	2.4
4	97	60	1.96
3.15	91.4	42	1.63
2	75.6	22	1.33
1	53.8	11	1.03
0.63	42.6	9	0.73
0.315	29.7	7	0.7
0.25	25.9	6	0.65
0.16	21	5	0.6
0.08	16.2	4	0.56

Commentaire :

Nous remarquerons que les trois classes granulaires présentent une granulométrie continue.

BITUMES

Les bitumes purs utilisés dans notre étude expérimental proviennent de la raffinerie de l'unité de production NAFTAL, il s'agit un bitumes purs de grade (40/50) souvent utilisés en Algérie en enrobés pour la confection des couches de roulement.

Des essais de caractérisation ont été effectués sur ceux-ci; Il s'agit des essais de:

- Pénétrabilité à l'aiguille à 25°C (Norme NA 5192) ;
- Point de ramollissement billes et anneaux (norme NA 2617) ;
- Ductilité à 25°C (norme NA 5223).



Figure 28: Bitume pur 40/50

Essai de pénétrabilité à l'aiguille

Cet essai permet de connaître la dureté du bitume sur la base de la pénétrabilité dans un échantillon de bitume évalué au dixième de millimètre d'une aiguille normalisée supportant une masse de 100 g durant 5 secondes à une température de 25 °C.



Figure 29: Dispositif de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille

Plus le bitume est dur plus la pénétrabilité est faible, cet essai explique le nom commercial du bitume et donne sa classification.

3. ESSAI DE RAMOLLISSEMENT BILLE & ANNEAU

Cet essai consiste à mesurer le point de ramollissement ; un anneau de cuivre rempli de bitume sur lequel est placée une bille en acier, est immergé dans de l'eau, on élève la température de 5 °C par minute, la température de ramollissement est celle où la bille entraîne le bitume se trouvant dans l'anneau au fond du récipient (ou sur une profondeur fixe). Cet essai renseigne sur la consistance du bitume.

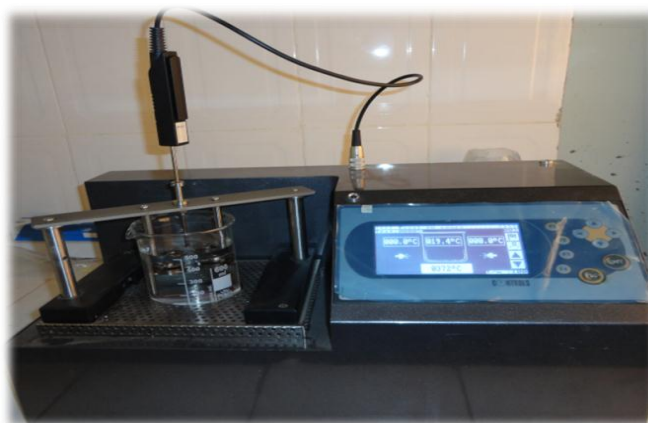


Figure 30:Appareil digital de ramollissement Bille et anneau

4. ESSAI DE DUCTILITE A 25°C (NORME NA 5223)

Cet essai consiste à mesurer l'allongement, à l'instant précis de sa rupture d'une éprouvette de forme déterminée, étirée à une vitesse de 50mm/min, et à une température de 25°C.

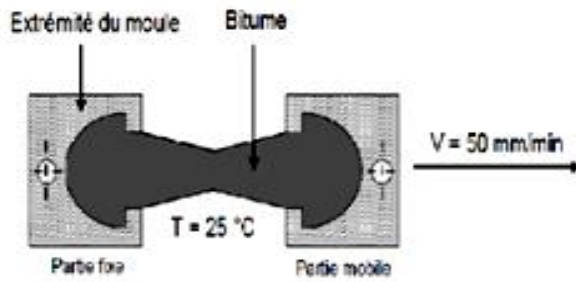


Figure 31: Principe de l'essai de ductilité

La mesure de la ductilité du liant permet de s'assurer du non fragilité de ce dernier.

Tableau 14: Résultats des essais effectués sur le bitume utilisé

Caractéristique	Norme	Résultat	Recommandations CTP
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)	NA 5192	33	30 à 45
T.B.A (°C)	NA 2617	52	52 à 57
Ductilité à 25°C (cm)	NA 5223	Sup100	Sup60

Les résultats obtenus montrent que le bitume 30/45 analysé a des caractéristiques qui répondent conformément à la norme.

ENROBE BITUMINEUX

1. FORMULATION DU MELANGE BB 0/14

La formulation étudiée concerne un béton bitumineux semi grenu 0/14 catégorie "C" confectionné à partir des classes granulaires 0/3, 3/8 et 8/15 et un bitume de classe 40/50, ce type de BB est fréquemment utilisé en revêtement dont les gammes d'épaisseur d'application sont comprises entre 7 et 9cm (minimum absolu 6cm).

2. DETERMINATION DU MELANGE GRANULAIRE OPTIMAL

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

La composition suivante a été retenue.

Tableau 15:Composition du mélange granulométrique

<i>Fractions</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
Sable 0/3	39
Fraction 3/8	20
Fraction 8/15	41

La courbe granulométrique du mélange issue de cette formule s'inscrit parfaitement dans le fuseau spécifique de Béton Bitumineux Semi Grenu défini dans les recommandations algériennes pour l'utilisation des bitumes et enrobés bitumineux de Février 2004

La courbe granulométrique du mélange est donnée dans la figure suivante.

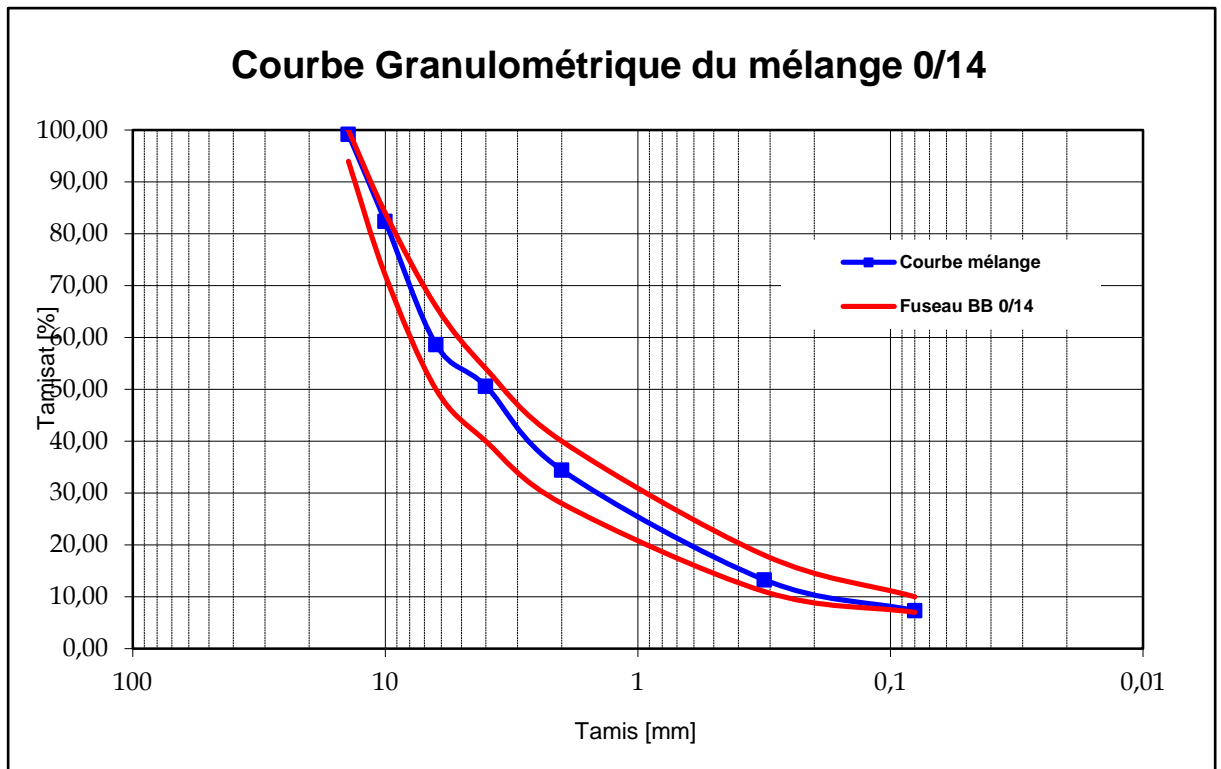


Figure 32: Courbe granulométrique du mélange et fuseau 0/14

3. DETERMINATION DES TENEURS EN BITUME

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

$$TL = \alpha \cdot K \sqrt[5]{\Sigma} \dots\dots\dots (1). \text{ Guide technique CTTP [41]}$$

- **La Surface spécifique des granulats Σ :**

La surface spécifique c'est-à-dire la surface développée qu'auraient les granulats assimilés à des sphères et qui calculé par l'équation suivante, M. L. NGUYEN [17]

$$100\Sigma = 0.25 G + 2.3 S + 12s + 135 f \text{ en } m^2/kg \dots(6). \quad \text{Guide technique CTTP [41]}$$

Avec:

La proportion pondérale des éléments supérieurs à 6.3 mm $\rightarrow G = 41.35\%$

La proportion pondérale des éléments compris entre 6.3 et 0.315 mm → **S = 45.38%**

La proportion pondérale des éléments compris entre 0.315 et 0.08 mm → **s = 5.92%**

La proportion pondérale des éléments inférieurs à 0.08 mm → **f = 7.35%**

On obtient une valeur de la surface spécifique $\Sigma = 11,78 \text{ m}^2/\text{kg}$

• **Coefficient correcteur α :**

Le coefficient de correction α destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats si cette masse volumique est égale à 2,65 g/cm, **$\alpha = 1$** .

Dans le cas contraire, **$\alpha = 2,65 / Mv \dots \dots (2)$** . Guide technique CTPP
[41]

Ou :

Mv : masse volumique du granulat

Dans notre cas $Mv = 2.66$ alors **$\alpha = 0.996$** .

• **Détermination de la teneur en liant en fonction du module de richesse (k)**

Le module de richesse k qui caractérise l'épaisseur moyenne de fin autour des granulats peut prendre les valeurs comprises entre 3,45 et 3,9 dans le cas d'un béton bitumineux.

Tableau 16: Teneurs en bitume retenues

<i>Formule</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Module de richesse	3.45	3.60	3.75
Teneur en liant	5.59	5.83	6.07

Composition des mélanges

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

4. ESSAIS DE PERFORMANCES MECANIQUES

Les essais réalisés pour tester les performances mécaniques du béton bitumineux Semi Grenu sont :

- les essais MARSHALL réalisés selon le mode opératoire des « recommandations Algériennes pour l'utilisation des bitumes et enrobés bitumineux » de Février 2004.
- les essais de module de rigidité selon la norme EN 14771

4.1 ESSAI DE MARSHALL

Les enrobés bitumineux sont compactés dans des moules à l'aide d'une dame en vue de réaliser des éprouvettes cylindriques.

Ces éprouvettes (température: 60°C) sont placées entre les deux mâchoires semi-cylindriques d'une presse qui se rapprochent l'une de l'autre à une vitesse constante.

Au cours de l'essai, la charge et la déformation sont enregistrées jusqu'à la rupture. Cet essai rentre dans la catégorie des essais empiriques à chargement unique qui, vu la complexité des sollicitations engendrées, ne permet pas la détermination d'une propriété intrinsèque du matériau. Il conduit à la détermination directe de deux grandeurs : le fluage (mm) et la stabilité Marshall (KN), deux grandeurs liées à la caractérisation empirique de l'orniérage.

a) Principe de l'essai

L'essai consiste à compacter des éprouvettes par damage selon un processus déterminé, puis les soumettre à un essai de compression (diamètre) suivant une génératrice dans des conditions définies.

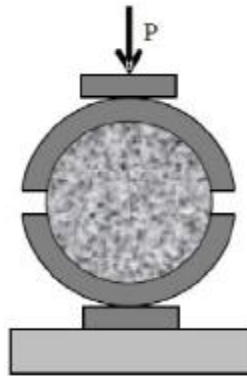


Figure 33: deux mâchoires semi-cylindriques

b) Mode opératoire

- Mettre à l'étuve le mélange retenu d'un poids total dépendant du nombre de moule ainsi que le bitume et les moules Marshall à une température spécifiée pendant 2 heures (Figure 34).



Figure 34: Etuve de chauffage

- Sortir de l'étuve la cuve contenant le mélange granulaire et la poser sur la plaque chauffante ainsi que le bitume.

- Peser la quantité de bitume relative à chaque mélange.

- Malaxer le mélange granulaire pour homogénéiser pendant 30 secondes.
- Peser et verser la quantité du liant préconisée en actionnant le malaxeur pendant 2 à 5 minutes



Figure 35: Enrobé après malaxage

- Remplir le moule d'enrobé à raison de 1200g à 1g près



Figure 36: Remplissage des moules Marshall

- Compacter à la dame électrique à 50 coups par face.



Figure 37: Dame Marshall

- Laisser refroidir le moule sous jet d'eau pendant 15 minutes.
- Démouler les éprouvettes et les laisser refroidir pendant 5 heures à une température ambiante.



Figure 38: éprouvettes démoulées

- Mesurer les dimensions des éprouvettes au 0.1mm près en 5 zones différentes (en hauteur)
- Préparer le bain-marie à $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.



Figure 39: Bain-marie

Immerger les éprouvettes et les mâchoires d'écrasement dans l'eau à 60°C pendant 40 minutes, échelonné à 5 minutes par éprouvette.

- Sortir l'éprouvette du bain et la placer sur les mâchoires d'écrasement, l'ensemble est porté entre les plateaux de la presse réglée à une vitesse de 0.86mm/s .



Figure 40: écrasement des éprouvettes

- Procéder à l'écrasement et lire la valeur en KN correspond à la charge maximale d'écrasement.

- Mesurer la valeur de l'affaissement de l'éprouvette selon son diamètre vertical au moment de la rupture (fluage en 1/10) mm à l'aide du pied à coulisses.

c) Résultats

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 17: Résultats de l'essai MARSHALL

Formule granulaire	A	B	C	Spécifications
Teneur en bitume (%)	5.59	5.83	6.07	-
Densité vraie	2.464	2.456	2.449	-
Densité apparente	2.4	2.4	2.39	-
Vides %	3	2	2	3 – 5
Stabilité (KN)	12.29	10.2	9.009	> 10,5
Fluage (mm)	3.616	4.266	4.4	< 4

4.2 ESSAI MODULE DE RIGIDITE

a) Principe

Cette méthode de mesure du module de rigidité des mélanges hydrocarbonés utilisant un essai de traction indirecte.

La méthode est applicable aux éprouvettes cylindriques fabriquées en laboratoire ou prélevées dans une couche de chaussée de divers diamètres et épaisseurs.

b) Mode opératoire

Le mode opératoire sur le module de rigidité est largement définis dans le chapitre quatre.

c) Résultat

Après la mesure de la valeur de rigidité à l'aide de NAT on a trouvé $E=9165.0$ Mpa

Commentaires :

D'après les résultats des essais effectués dans notre expérimentation au niveau du laboratoire du CTPP, nous remarquons que :

- Les compacités des éprouvettes ne sont pas acceptables, à l'exception de la formule « A » où le pourcentage de vide est acceptable.
 - Les stabilités de MARSHALL ne sont pas conformes aux spécifications à l'exception de la formule « A » où la stabilité est acceptable.
 - La résistance au fluage de la formule « A » conforme à la spécification.
- **La formule « A » présente des bonnes performances en termes de compacité, stabilité, fluage.**

CHAPITRE VII

INFLUENCE DE L'AJOUT DES FIBRES SUR LE MODULE DES ENROBES

INFLUENCE DE L'AJOUT DES FIBRES SUR LE MODULE DES ENROBES

1. INTRODUCTION

L'utilisation des renforts non conventionnels (végétaux) pour l'élaboration de matériaux composites impose de bonnes connaissances des propriétés physiques et chimiques de ces matériaux.

Ce chapitre présente l'ensemble des techniques et méthodes mise en œuvre pour la caractérisation des fibres et les composites élaborés.

2. PREPARATION DES FIBRES

Les plaquettes des fibres de palmier sont séparées en fibres individuelles dans l'eau, pour faciliter leur défibrage. Les fibres individuelles sont bien lavées à l'eau mélangée avec quelques gouttes de l'eau de javel pour enlever les impuretés et la couche de lignine qui entourent les fibres et qui gêne l'adhérence

3. SELECTION ET DECOUPAGE DES FIBRES

La sélection des fibres se base sur leur dimension et leur résistance. Ensuite on se débarrasse des fibres qui ont faible résistance et dimension, afin de limiter les sources de dispersion des résultats.

Le découpage des fibres s'effectue à l'aide d'une lame rasoir aux longueurs suivante: 1cm, 3cm, 5cm et 7cm tout en essayons d'avoir un diamètre plus au moins uniforme au long de la partie utile.



Figure 41: Fibres de palmier dattier coupées

4. DEMARCHE EXPERIMENTALE

La campagne expérimentale a pour objectif déterminer l'influence des fibres végétales dans les propriétés mécaniques d'enrobés bitumineux. Pour cela, on a réalisé l'essai du module. Ces déterminations ont été réalisées dans un essai homogène, essai de tension-compression, sur des éprouvettes cylindriques.

Pendant la campagne expérimentale certaines caractéristiques de fabrication de l'enrobé ont été fixés, comme la granulométrie, la teneur en liant et le type de compactage. Deux variables ont été considérées : la longueur et la concentration de la fibre végétale. Pour la longueur on a considéré quatre valeurs (1cm, 3cm, 5cm et 7cm) et trois pour la concentration (0,1% ; 0,2% et 0,3% de la masse de l'enrobé). Avec ces valeurs on étudiera l'influence des caractéristiques physiques de la fibre naturelle sur le module d'enrobés bitumineux.

5. MODE OPERATOIRE

Le mode opératoire sur le module de rigidité et l'essai MARSHALL est largement définis dans le chapitre quatre et le chapitre cinq.

D'après le chapitre cinq on a retenu le mélange A comme témoin, il présente des bonnes performances en termes de compacité, stabilité, fluage.

On a utilisé 03 moules MARSHALL avec une teneur en liant de 5.59 et le pourcentage de granulats suivant

Tableau 18: Composition du Béton Bitumineux 0/14

Fractions Granulaires		Poids (g)
Fillers		0
0/3		1404
3/8		720
8/15		1476
Total		3600
Teneur en Bitume (40/50)	% bitume	Poids (g)
Teneur TL1	5,59	201

- On ajout le pourcentage de fibres aux granulats

Tableau 19: la quantité de fibres ajoutées pour chaque dosage

% fibres	Poids (g)
0.1%	3.6
0.3%	10.8
0.5%	18

Donc pour chaque longueur on a besoin ces quantités des fibres

- On malaxe ce mélange pour assure la répartition des fibres entre les granulats
- On met à l'étuve le mélange retenu à une température spécifiée (160 c°) pendant 2 heures
- On mesure le module pour chaque dosage avec les différentes longueurs et on compare les résultats par apport au témoin.

6. INFLUENCE DE FIBRES VEGETALES SUR LE MODULE DE RIGIDITE

Il est intéressant d'étudiée dans un premier temps les différentes caractéristiques de l'enrobée modifié puis par la suite de faire une étude comparative sur les caractéristiques et le

Les résultats : Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

a. Résultats de 0.1% (teneur en fibres)

Tableau 20 : Résultats de 0.1% (teneur en fibres)

Longueur (en cm)	Le module (en MPA)
1cm	9036,3
3cm	9200,8
5cm	9290,6
7cm	8680,69

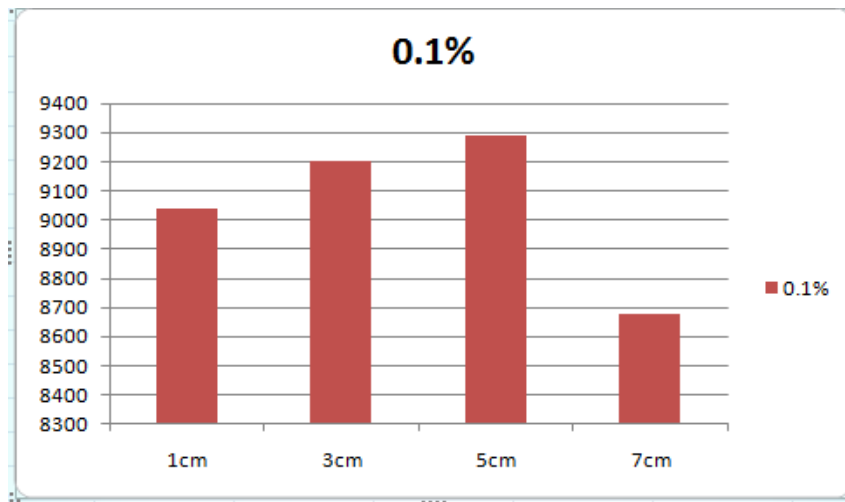


Figure 42: Résultats de 0.1% (teneur en fibres)

b. Résultats de 0.3% (teneur en fibres)

Longueur (en cm)	Le module (en MPA)
1cm	9100,3
3cm	9290,51
5cm	9440,1
7cm	9009,3

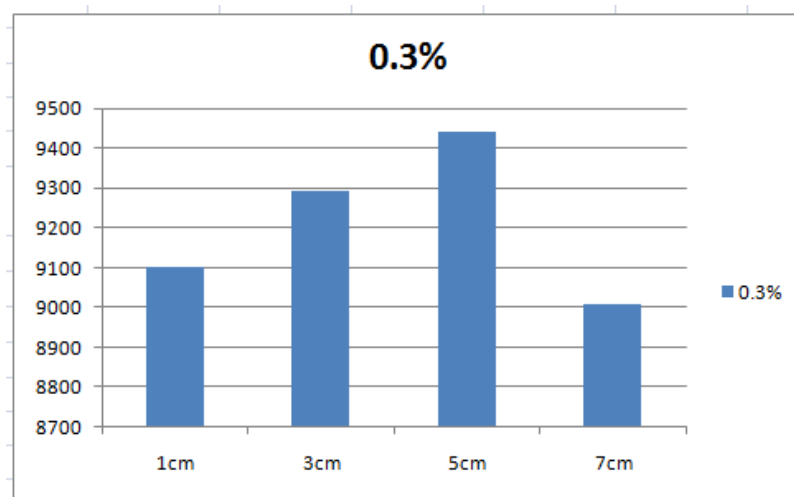


Figure 43: Résultats de 0.3% (teneur en fibres)

c. Résultats de 0.5% (teneur en fibres)

Longueur (en cm)	Le module (en MPA)
1cm	8921,4
3cm	9163,12
5cm	8900,2
7cm	8766,3

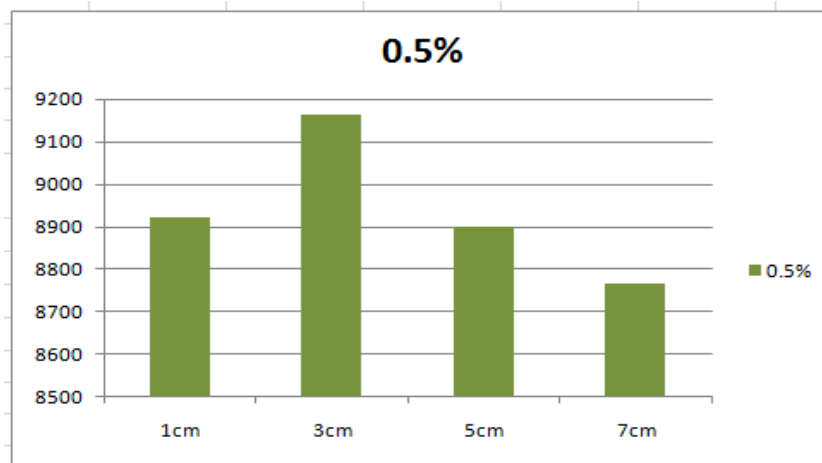


Figure 44 : Résultats de 0.5% (teneur en fibres)

Pour faciliter l'interprétation des résultats et les comparées avec les résultats de référence on présente tous les résultats dans la figure suivante :

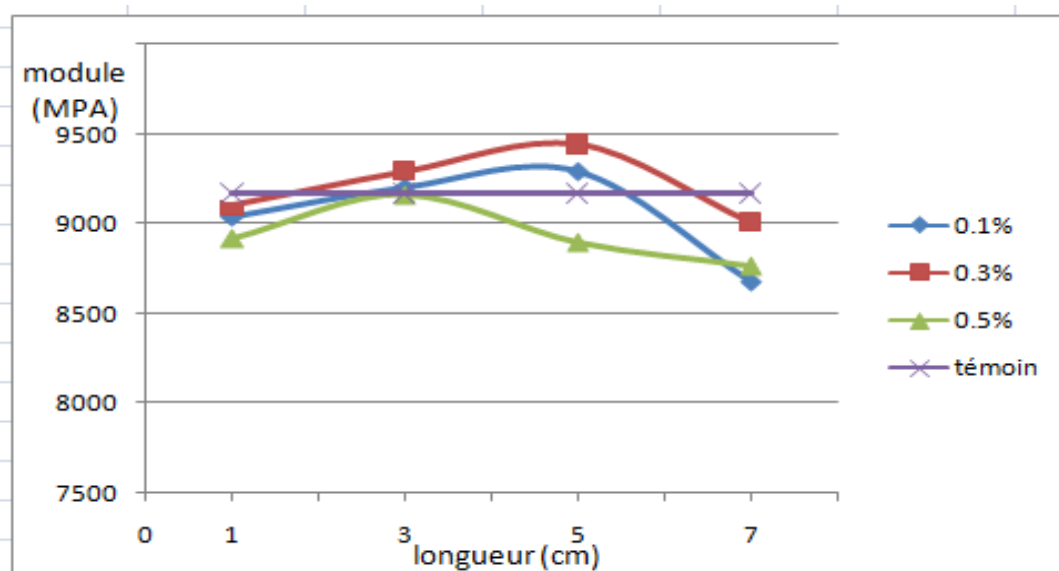


Figure 45: Résultat du Module en fonction de pourcentage et longueur d'ajout des fibres végétales.

7. INTERPRETATION DES RESULTATS

Les enrobés renforcés de 0.3% fibres et de longueur 3cm et 5cm présentent meilleures module que l'enrobé de référence, et les autres dosages.

L'enrobé bitumineux renforcé de fibres végétales de 5cm de longueur et une concentration de 0,3% a présenté une maximale d'amélioration (9440,1 Mpa) parce que les fibres assurent une meilleure liaison entre les granulats et le bitume

On remarque bien aussi que les dosages de 3 cm de longueur sont améliorés le module donc on constat que les longueurs entre 3cm et 5cm ont un effet positive sur le module des enrobés.

On peut observer aussi que les enrobés avec fibres de 1 cm et 7cm de longueur n'améliorent pas le module. Il semble que la fibre de 1 cm est courte par rapport à la taille de granulats et les fibres de 7cm sont si longues qui forment des boules qui représentent zones de failles potentielles dans l'enrobé.

CONCLUSION GENERALE

Notre travail consiste à étudier de l'influence de l'ajout de fibres végétales de palmier dattier sur le module des bétons bitumineux cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

Il est possible d'améliorer le module des enrobés par l'ajout des fibres végétales à un dosage et des longueurs bien précises

Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de la région d'Ouargla (type Dokar) de masse volumique apparente faible.

L'augmentation des dosages et des longueurs des fibres dans l'enrobé provoque une amélioration considérable de la valeur du module de rigidité des enrobés bitumineux jusque à certain dosage de plus à 0.3%, et l'amélioration par apport la longueur, les résultats de module sont augmentés pour les longueurs de 3cm à 5cm, parce que les fibres assurent une meilleure liaison entre les granulats et le bitume.

Enfin l'amélioration des enrobés bitumineux par les fibres végétales est relativement nouveau par apport à les autres techniques de renforcements. La caractérisation de ce nouveau matériau composite nécessite alors, la multiplication des recherches et des essais, ainsi que le développement de nouveaux procédés d'expérimentation.

BIBLIOGRAPHIE

ANDREW Dawson & PAULI Kolisoja: «managing rutting in low volume - roads» Edition, ROADDEX III Lead Partner, July 2006, P26.

ALI. B, SHAHROUR, I & K WOZNICA: «Etude du comportement mécanique des chaussées souples application à la prévision de l'orniérage» communication au 17ème Congrès Français de Mécanique.

AIPCR : Comité technique AIPCR des routes souples, Comité technique AIPCR des caractéristiques de surface « les enrobes drainants» Belgique 1993, P135.

BENEDETTO. D : « écarts entre état des connaissances et application» journée LAVOC. Genève. 1998.

BLEDZKI A.K; «Composites reinforced with cellulose based fibres», Prog. Polym. Sci. 24 221-274, 1999

CTTP : Guide technique de tarvaux publics «Recommandations sur l'utilisation des bitumes et des enrobés bitumineux à chaud», fascicule 2 (La formulation), CTTP, Février 2004.

CHARLE, K, MORVAN, C ALL : " Etude morphologique d'un composite naturel la fibre de lin" revue des composites et des matériaux avancés, Vol 16, pp 11-24, 2006. [NAV 11] : J. NAVARO, « Cinétique de mélange des enrobés recyclés et influence sur les performances mécaniques» thèse de doctorat à l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Bordeaux, 2011.

DONGMO, Berthe Julienne : «caractérisation des déformations d'orniérage des chaussées bitumineuses » Thèse de doctorat de l'institut national des sciences appliquées de Lyon., 2005, 264 p.

EL BEZE. Laëtitia : « recyclage à chaud des agrégats d'enrobes bitumineux : identification de traceurs d'homogénéité du mélange entre bitume vieilli et bitume neuf d'apport» Thèse de doctorat de l'université Paul CÉZANNE, décembre 2008.

LOMBARDI .Bernard : «liants hydrocarbonés» Edition Tome I.

LAMOTHE, Sébastien : «enrobe grenu : influence du dosage en filler et de l'ajout d'un sable roule sur le couple d'ouvrabilité d'orniérage» Mémoire présenté à l'école de technologie supérieur de l'université de Québec, 2004.

LAURANS, F. DEJARDIN, A & PILATE, J : "Physiologie de la formation des parois de fibres de bois", composites et matériaux avancés, Vol.16, pp.27-39, 2006.

MICHAUD. F "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003

NARDIN, M : « interface fibre-matrice dans les matériaux composites application aux fibres végétales », revue des composites et des matériaux avancés, Vol 16, pp 49-61, 2006.

NENONENE .A. Y « Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage », thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.

NGUYEN, Mai Lan « Etude de la fissuration et de la fatigue des enrobés bitumineux » Thèse de doctorat de l'institut national des sciences appliquées des Lyon. 2009, 264 p.

ROWELL .M : “Composite Materials from Agricultural Resources” Olsen, Ole; Rexen, Finn; Larsen, Jorgen, eds. Research in industrial application of non food crops, I: plant fibers: Proceedings of a seminar; 1995 May; Copenhagen, Denmark. Linkboy, Denmark Academy of Technical Science: 27-41

SAOUDI. Nacira « influence de la température sur la résistance et le fluage des enrobés bitumineux » thèse de MAGISTER, algéria.2008.

SEBBEN PARANHOS. Régis : « approche multi-échelles des émissions d'un procédé d'élaboration des enrobés à chaud » thèse du doctorat de l'université de ROUEN, février 2007.

SIDIBÉ, Maïmouna : « étude de l'utilisation des granulats de type silex en géotechnique routière (notamment en couches de base et revêtement des couches de chaussées » projet de fin d'étude de l'école polytechnique de tries, université CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, juillet 1995.

VERVERIS, C, GEORGHIOU, K ALL: Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their Suitability for paper production. Industrial Crops and Products 19: 245–254, 2004.

ZEMMIRI. Anouar Abdelaziz « Comparaison des formulations d'enrobés à chaud pour couches de roulement des chaussées très circulées utilisées en France et en Algérie du point de vue sécurité (glissance) et orniérage » Certificat d'études supérieures - ENTPE de Lyon 2008, 112 p.