

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Thème

Influence de la température de conservation sur les performances mécaniques des bétons bitumineux fins

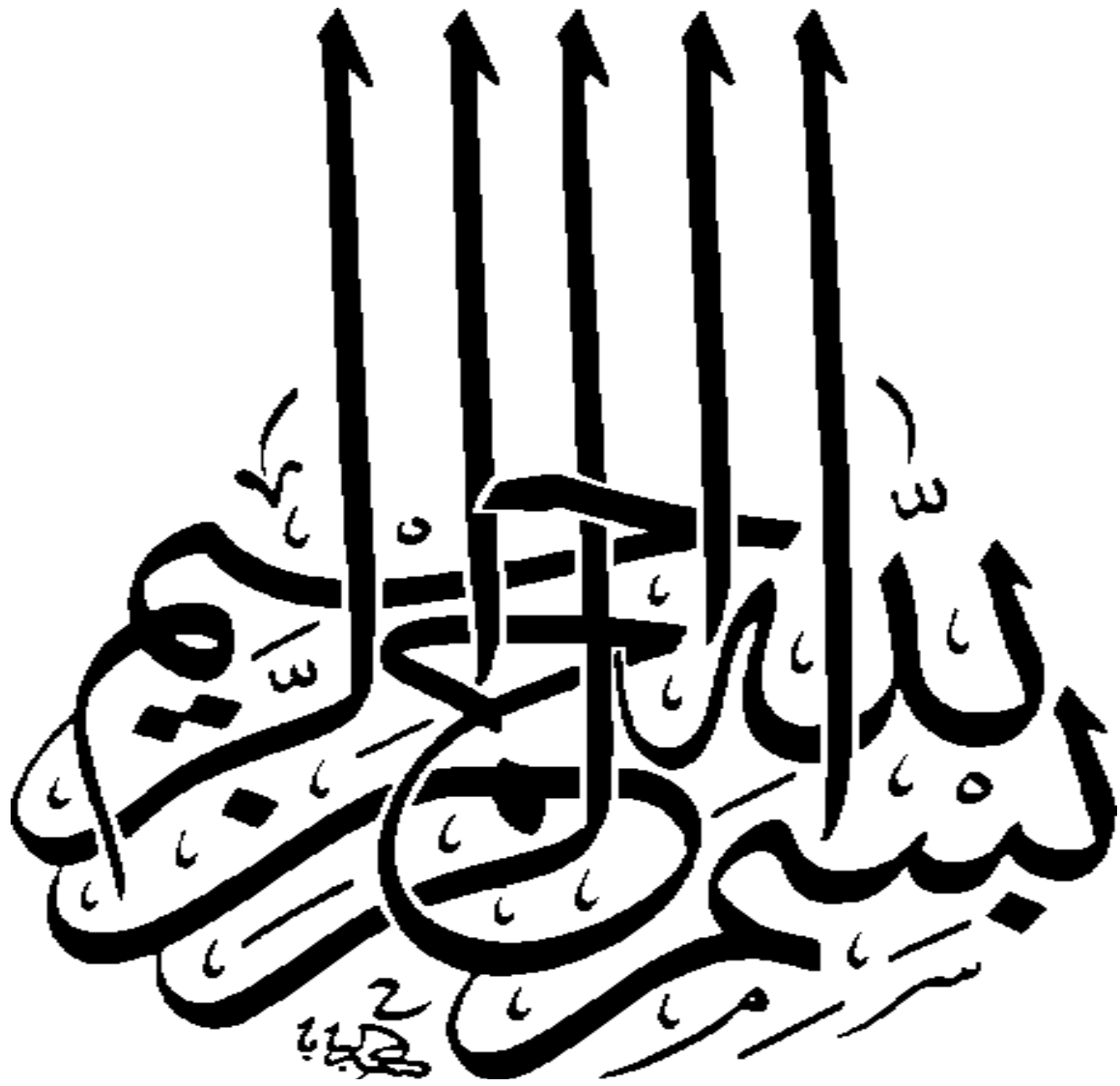
Présenté par :

- ❖ DJEGHAB Ikram
- ❖ KADIR Hana

Soumis au jury composé de :

BENTATA Aissa	UKM Ouargla	MAB	Président
KHENGAOUI Safia	LTPS Ouargla	DOCT	Examinatrice
KEBAILI Nabil	UKM Ouargla	MCB	Encadreur

Année Universitaire: 2021 / 2022





Remerciements

Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu Tout-Puissant, qui tout au long des années d'éducation nous a donné la santé, le courage et la patience jusqu'à ce jour.

C'est avec plaisir et un profond sentiment de gratitude que nous exprimons notre appréciation et nos sincères remerciements à notre superviseur,

Dr. KEBAILI Nabil

Pour tous les efforts qu'il a faits pour nous ainsi qu'au technicien du LTPS-Ouargla :

Mr : KORICHI Djamel

Pour son soutien continu et ses conseils efficaces tout au long de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements au personnel du Département de Génie civil et Hydraulique pour leur patience et soutien et qui ont déployé de grands efforts pour transmettre leurs connaissances et compétences indéniables ainsi que leurs qualités humaines.

A tous nos professeurs et collègues de l'Université d'Ouargla et à tous ceux qui ont coopéré de près ou de loin à la réussite de ce mémoire, qu'ils trouvent dans ces quelques lignes l'expression de notre profonde gratitude pour leur soutien et leurs encouragements continus.

Nous tenons finalement à adresser nos sincères remerciements à tous ceux et celles qui nous ont aidés, de près ou de loin, dans la réalisation et l'étude de ce magnifique projet.

Dédicaces

Je dédie ce memoir:

A mes chers parents, que Dieu les protège et leur montre la lumière sur mon chemin.

À mes sœurs et tous les honorables membres de la famille, à mes amis et collègues du Département de génie civil en particulier et de la faculté des Sciences Appliquées en général.

*À tous mes honorables professeurs, que Dieu les préserve.
À tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

À tous ceux qui me sont chers et proches,

*À tous ceux qui ont semé en moi à tout point de vue,
Et à tous ce qui m'ont enseigné le long de ma vie scolaire.*

Kadir Hana



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail premièrement :

À celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse qui
s'est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite,
à ma mère Saliha

À mon père, frères, sœurs et amis qui m'ont soutenu pour
mener à terme ce travail.

Je ne dois pas oublier mes chers professeurs qui ont eu le
plus grand rôle pour me soutenir par leurs précieuses
informations.

Enfin, je dédie cet humble mémoire à tous ceux que j'aime
et que j'apprécie.

Merci



Djeghab Ikram

ملخص:

تستنفذ التجارب المخبرية الخاصة بالخرسانة الزفتية الكثير من الوقت والجهد للقيام بها فضلا عن كلفتها، لذا فالهدف من هذه المذكرة هو تجريب نتائج الموجات فوق الصوتية لتقييم الأداء من ناحية مقاومة الضغط (الاستقرار) والتشوه (الهبوط).

لذا فان الدراسة الحالية تهدف الى معرفة العلاقة بين الجهازين " هوبارد فيلد" و"التجارب الصوتية" بالنسبة للخرسانة الزفتية الدقيقة المكونة من رمل محلي "حاسي سايح" مع زفت من صنف 40/50 بغية الوصول الى مركب جديد "الزفت الرملي".

لبلوغ هذا الهدف تم تصميم خلطات خرسانية عديدة بتركيبات مختلفة قصد تحديد التركيبة الركامية المثلى التي توافق النتائج الميكانيكية الموافقة للمعايير المعمول بها .

اعتمدنا خلال هذا البحث على تجربة الاستقرار " هوبارد فيلد" الخاصة بالخلطات الزفتية الدقيقة مع محاولة ايجاد علاقات مع التجارب الفوق الصوتية المعتمدة في مجال الخرسانة الهيدرووليكية .

في هذا السياق اختبرنا ثبات الخليط من اجل معرفة تأثير درجة الحرارة 20° و 40° و 60° ودراسة استقرارها وكذا نسب التشوه وعلاقته بسرعة الأمواج الصوتية .

خلصت النتائج الى جملة من التوصيات التي تسمح لنا بالوصول الى نتائج أفضل .

الكلمات المفتاحية: رمل حاسي سايح ، ثبات هوبارد فيلد،أمواج فوق صوتية، الزفت 50/40 .

Résumé :

Les expériences en laboratoire sur le béton bitumineux consomment beaucoup de temps et d'efforts à réaliser en plus de leur coût. A cet effet, l'objectif de ce mémoire est de tester les résultats des ultrasoniques pour évaluer les performances en termes de résistance à la pression (stabilité) et à la déformation (fluage).

Par conséquent, la présente étude vise à déterminer la relation entre les deux essais « Hubbard Field » et le « essai ultrasonique » pour le béton bitumineux fin composé d'un sable local « Hassi Sayeh » avec un bitume de grade 40/50, afin d'atteindre un nouveau composé. , "Sable bitume"

Pour atteindre cet objectif, plusieurs mélanges de béton de différentes compositions ont été conçus afin de déterminer la composition optimale qui répond aux normes en vigueur.

Au cours de cette recherche, on s'est basé sur l'essai de stabilité "Hubbard Field" pour les enrobés fins, dans le but d'établir des corrélations entre les résultats de stabilité et les résultats ultrasonores.

Dans ce cadre, nous avons testé la stabilité du mélange afin de connaître l'effet des températures à 20°, 40° et 60°, et d'étudier leur stabilité, ainsi que les taux de déformation et leur relation avec la vitesse des ondes sonores.

Les résultats se sont concluants dans la mesure ou on a pu établir un certain nombre de recommandations qui nous permettent d'atteindre de résultats meilleurs.

Mots clés : sable de Hassi sayeh , stabilité Hubbard Field, ondes ultrasonores, bitume 40/50.

Summary:

Laboratory experiments on asphalt concrete consume a lot of time and effort to carry out and their cost. This work aims to test the results of ultrasounds to evaluate the performance in terms of resistance to stress (stability) and strain (creep).

Therefore, the current study aims to know the relationship between the two tests, "Hubbard Field" and "Ultrasonic experiment" for the fine asphalt concrete consisting of local sand "Hassi Sayeh" with 40/50 grade asphalt, to arrive at a new compound. "Sandy pitch."

To achieve this objective, several concrete mixes with different compositions have been designed to determine the optimal aggregate composition that matches the mechanical results according to the applicable standards.

During this research, we relied on the stability experiment "Hubbard Field" for fine asphalt mixtures to find relationships with the ultrasonic experiments adopted in the field of hydraulic concrete.

In this context, we tested the mixture stability to know the effect of temperatures at 20°, 40°, and 60°, and to study their stability, strain ratios, and their relationship to the speed of sound waves.

The results concluded with several recommendations that allow us to reach better results.

Keywords: Sand Hassi Sayeh, Hubbard field stability, ultrasonic waves, asphalt 40/50.

Table des matières

REMERCEMENTS	I
DEDICACES	II
RESUME	III
TABLE DES MATIERES	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DESSYMBLES	VII
INTRODUCTION GENERALE	01
PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : généralités sur les bétons bitumineux fins	
I.1.INTRODUCTION	03
I.2. GENERALITES SUR LES CHAUSSEES ROUTIERES	03
I.3. LES BETONS BITUMINEUX	04
3.1. Les types de béton bitumineux ordinaire	05
I.4.ETAT DE L'ART SUR L'UTILISATION DES ENROBÉS BITUMINEUX	06
I.5. CONCLUSION.	07
CHAPITRE II: Présentation des matériaux utilisés	
II.1. INTRODUCTION	08
II.2. HUBBARD FIELD	08
2. 1. INTRODUCTION ET APERÇU HISTORIQUE	08
2.2. DEFINITION ET BUT DE L'ESSAI HUBBARD FIELD	08
2.3. PRINCIPE DE L'ESSAI HUBBARD FIELD	09
2.4. APPAREILLAGE & COMPOSANTS	09
2.5. ETAPES DE REALISATION DE L'ESSAI	11
2.6. PREPARATION ET DURCISSEMENT DES EPROUVETTES D'ESSAI	11
2.7. DETERMINATION DE LA STABILITE	12
2.8. RAPPORTS	12
2.9. MODE OPERATOIRE	14
II.3. ESSAIS ULTRASONIQUES	16
3.1. Définition	16
3.2. Étalonnage de l'appareil	16

3.3. Historique	16
3.4. But et principe d'utilisation	17
3.5 Principales normes d'application	18
3.6. Modes opératoires	18
3.6.1 Travaux préparatoires	18
3.6.2 Points de mesures	18
3.7. Manières de mesure	19
3.7.1. Mesure en transparence (directe)	19
3.7.2. Mesures en surface (indirecte)	19
3.7.3. Mesures semi directe	20
3.8. Avantage	20
3.9. Inconvénients	21
II.4. CONCLUSION	21
PARTIE 2: ETUDE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE III : MATERIAUX UTILISES ET FORMULATIONS	
III.1. INTRODUCTION	22
III.2. MATERIAUX UTILISÉS	22
2.1. Le bitume	22
2.1.1. Principe et description d'appareillage	23
2.2. Le sable	24
2.2.1. Caractéristiques du sable utilisé	25
2.3. Détermination du dosage en bitume optimal	28
III.3.CONCLUSION	29
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION	
IV.1. INTRODUCTION	30
IV.2. ANALYSES DES RESULTATS 01	30
IV.3. ANALYSES DES RESULTATS 02	33
IV.4. MESURE DE DENSITÉ PAR PARAFFINAGE	38
4.1 Détermination de la densité apparente (NFP 98-250-6)	39
IV.5. CONCLUSION	40
CONCLUSION GÈNERALE	
LIST DES RÉFÈRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
LES ANNEXES	
ANNEXE -A- ANALYSE DES MATERIAUX UTILISÉS	44
ANNEXE -B- RESULTATS DES ESSAIS MECANIQUES	45
ANNEXE -C- LA NORME HUBBARD FIELD	52

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX FINS

Tableau I.1: Caractéristiques des BB courants 5

Tableau I .2 : Quelques études réalisés sur les enrobés bitumineux ordinaire 6

CHAPITRE II : Présentation des matériels utilisés

Tableau II.1 : Température de référence des bitumes fluidifiés ou fluxés 13

CHAPITRE III : CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

Tableau III.1 : Caractéristiques du bitume utilisé..... 23

Tableau III.2: Masses volumiques absolues et apparentes 25

Tableau III.3: Pourcentage des tamisât du sable utilisé..... 25

Tableau III.4: Pourcentage des différents composants 26

Tableau III.5 : Analyses chimiques des Sable alluvionnaire utilisés 27

Tableau III.6 : Equivalent de sable mesuré..... 27

Tableau III.7 : Teneurs en liant pour différentes valeurs du module de richesse..... 28

CHAPITRE IV : ESSAIS REALISES ET INTERPRETION

Tableau IV.1 : Récapitulatif des résultats de Formulation..... 31

Tableau IV.2 : Récapitulatif des résultats des essais avec 5,75% de bitume (meilleur dosage)..... 31

Tableau IV.3 : Mesure de la densité réelle par paraffinage 38

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX FINS

Figure I.1: Constitution d'une structure de chaussée type 4

Figure I.2 : Composition de béton bitumineux 4

CHAPITRE II: Présentation des matériaux utilisés

Figure II.1: Appareil d'HUBBARD FILED 10

Figure II.2: modified Hubbard -field test set-up..... 15

Figure II.3: Typical plots in modified Hubbard –Field method of bituminous15

Figure II.4: De apparie ULTRASONIQUES..... 17

Figure II.5: Indique la méthode de mesure directe..... 19

Figure II .6 : Indique la méthode de mesure indirecte.....20

Figure II.7 : Indique la méthode de Mesures semi directe.....20

CHAPITRE III : CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

Figure III .1 : Bitume liquide 40/5022

Figure III.2: Principe et dispositif de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille.....23

Figure III.3: Appareil digital de ramollissement Bille et Anneau..... 24

Figure III.4: Schéma de détermination du point de ramollissement..... 24

Figure III.5: Le sable alluvionnaire..... 24

Figure III.6: Analyse granulométrique du sable25

Figure III.7: Courbe granulométrique moyenne du sable alluvionnaire.....26

Figure III.8 : Courbe granulométrique du sable et fuseau de référence...	26
---	-----------

CHAPITRE IV : ESSAIS REALISES ET INTERPRETION

Figure IV.1: Evolution du fluage en fonction du dosage en bitume.....	32
Figure IV.2 : Evolution de la stabilité en fonction du dosage en bitume.....	33
Figure IV.3 : Evolution de la stabilité en fonction de la température.....	34
Figure IV.4 : Variations de la masse volumique en fonction de la température	34
Figure IV.5 : Evolution du fluage en fonction de la température.....	35
Figure IV.6 : Influence de la température de conservation sur la stabilité et le fluage...	36
Figure IV.7 : Variation des vitesses soniques avant et après conservation.....	36
Figure IV.8 : Variation de la stabilité en fonction de la vitesse sonique	37
Figure IV.9 : Variation du fluage en fonction de la vitesse sonique	38
Figure IV.10: Images illustrant l'essai à la paraffine.....	40

NOMENCLATURE

SA: Sable alluvionnaire.

SB: sable bitume.

HB: Hubbard Field.

LTPS : Laboratoire des Travaux Publics du Sud.

TL : Teneur en bitume.

K : Module de richesse.

Σ : Surface spécifique (m^2/g).

TL : Teneur en bitume dans un mélange (%).

MS : Masse du sable dans le mélange (g).

P1 : Poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'air (g).

P2 : Poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'eau (g).

γ_{app} : Densité apparente de l'éprouvette.

γ_b : Densité du bitume.

Pb : Pourcentage en poids du bitume (%).

PS : Pourcentage en poids du sable (%).

γ_{abs} : Densité absolue du matériau enrobé (g/cm^3).

V1 : Vitesse sonique avant conservation (m/s).

V2: Vitesse sonique après conservation (m/s).

ST: Stabilité des éprouvettes Hubbard Field.

FL: Fluage des éprouvettes Hubbard Field.

γ_s : Masse volumique absolue des sables (g/cm^3).

γ_a : Masse volumique apparente des sables (g/cm^3).

ES: Equivalent de sable (%).

γ_s : Densité du sable.

BB : Béton Bitumineux.

NF : Norme française.

MVA: Masse volumique Apparente.

MVRe : Masse volumique Réelle des enrobés .

P: poids. ; **H:** Hauteur.

Introduction générale

Une route est un lien terrestre qui relie des lieux, des villes, des villages, etc. Il favorise le développement économique du territoire et facilite les débouchés commerciaux et la circulation des produits. Cela réduit également les coûts de transport et le temps de déplacement. Par conséquent, les routes jouent un rôle important dans le développement social et économique.

La construction de routes en milieu désertique est devenue un besoin actuel, urgent et de plus en plus important, notamment avec la naissance de nouvelles activités commerciales, industrielles et touristiques.

Le but de nos travaux actuels est de valoriser le sable local, en l'occurrence le sable de Hassi Sayeh dans le secteur routier et surtout dans le béton bitumineux dans le chemin d'érosion.

A cet effet, le sable alluvionnaire de Hassi Al Seih est mélangé à du bitume 40/50 afin de concevoir un béton bitumineux fin. La formule utilisée est celle de la cinquième racine et les échantillons ont été soumis à des tests aux ultrasons à différentes températures afin de trouver d'éventuelles corrélations entre les performances mécaniques et les vitesses du son.

C'est pourquoi nous avons déterminé les performances mécaniques des mélanges de sable et de bitume Hassi Sayeh et les avons comparées avec du béton bitumineux ordinaire pour obtenir de meilleurs résultats.

Pour atteindre cet objectif, nous avons divisé cette thèse en deux parties principales ;

- La partie bibliographique.
- Partie expérimentale.

La première partie est consacrée à la revue bibliographique, et le premier chapitre de celle-ci résume les connaissances actuelles sur les sables préparés pour enrobés bitumineux du point de vue de la définition, de l'utilisation et du comportement dans les fondations des plates-formes ainsi que la formulation du béton de sable. .

Le chapitre deux traite du test de stabilité de champ Hubbard spécialement conçu pour les micro-mélanges bitumineux et les vitesses ultrasonores. Ce chapitre vise à définir ce test, le principe du test et la méthodologie validée.

La deuxième partie, la partie expérimentale, comprend deux chapitres : le premier étudie la caractérisation géotechnique des matériaux utilisés : sable de Hassi Al-Assyah et bitume 40/50 du point de vue des propriétés physiques, chimiques et mécaniques, et la détermination de la courbe de mélange et des teneurs en bitume.

Le deuxième chapitre présente les essais et dispositifs expérimentaux homologués. Après avoir conçu la formule appropriée, les résultats des essais mécaniques sont donnés et comparés aux normes établies.

Ensuite, les résultats obtenus après les essais menés sur les différents mélanges sélectionnés sont présentés en analysant, discutant et extrayant les résultats.

Partie 1:

Etude Bibliographique

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX FINS

CHAPITRE I**GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX FINS****I.1. INTRODUCTION**

Les bétons bitumineux fins comme les bétons bitumineux ordinaires utilisés en chaussées routières, sont définis par leur nature, dosage et leurs constituants composants ainsi que leurs performances mécaniques. Dans le présent chapitre, nous abordons les généralités sur les enrobés bitumineux particulièrement les enrobés dits fins qui sont généralement utilisés en couche de roulement et parfois en couche de liaison. Les types de chaussées routière et ses composants et caractéristiques sont aussi abordés.

I.2. GENERALITES SUR LES CHAUSSEES ROUTIERES

La chaussée est la partie de la route affectée à la circulation des véhicules, elle assure les déplacements des usagers et le transport des marchandises. Une chaussée est constituée d'une superposition de couches de matériaux différents dont l'ensemble est appelé superstructure et reposant sur une infrastructure. Dans l'infrastructure nous avons le sol de plate-forme et la couche de forme en cas de remblai, pour la superstructure nous avons la couche de fondation, la couche de base et la couche de surface ou de revêtement. [2]

Une chaussée se présente sous la forme d'une structure multicouche comme montré en figure 1 dont laquelle on peut distinguer deux niveaux distincts.

- **La couche de roulement** : est la couche supérieure de la structure routière sur laquelle s'exerce directement les agressions conjuguées du trafic et du climat.
- **La couche de liaison** : Les diverses couches d'une chaussée doivent fonctionner comme un ensemble monolithique.
- **Les couches d'assise** : Les couches d'assise sont décrites comme illustrées sur la figure 1 :

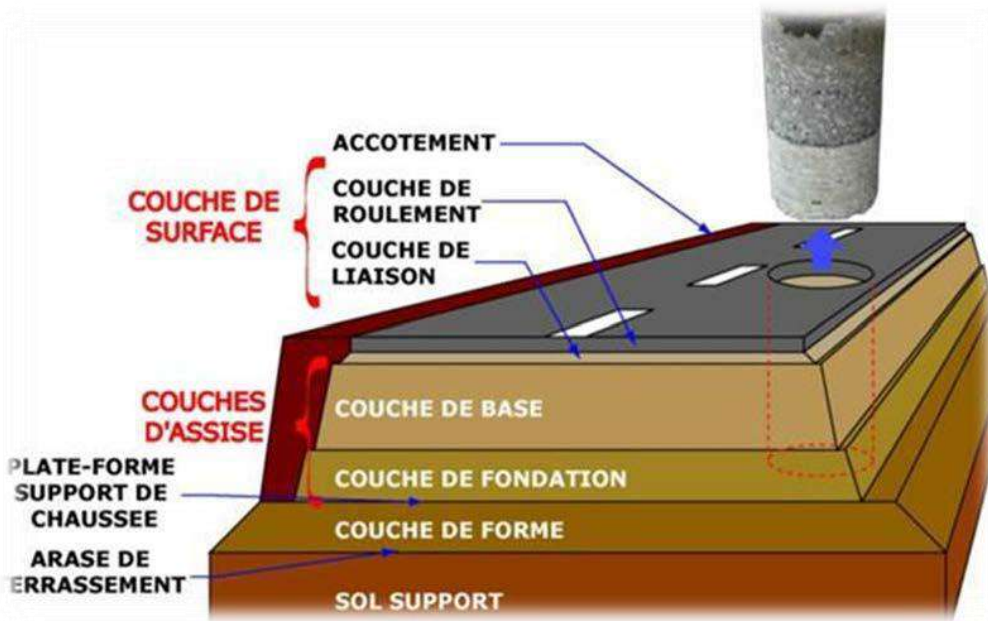


Figure I.1 : Constitution d'une structure de chaussée type

I.3. LES BETONS BITUMINEUX

Un béton bitumineux, appelé encore enrobé ou enrobé bitumineux, est constitué de graviers, de sables, de filer et de bitume come liant. Il est destiné notamment pour le revêtement des routes, des parkings et des trottoirs. Il peut être disposé en une seule ou plusieurs couches en fonction du besoin. [1]

La figure 2 illustre les composants entrant dans la composition du béton bitumineux ordinaire.

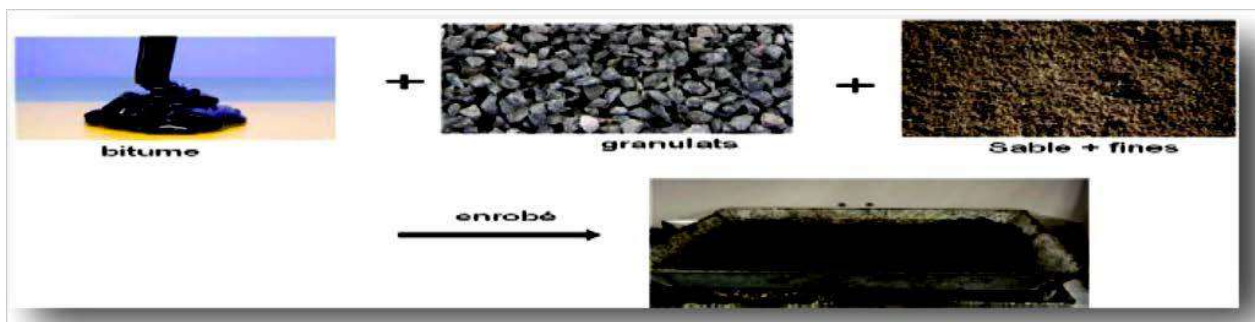


Figure I.2: Composition de béton bitumineux

Le bitume utilisé dans les enrobés confère des propriétés viscoélastiques aux revêtements de chaussées. Un bitume ayant les caractéristiques appropriées assure des performances élevées sur le plan de la résistance à l'orniérage, à la fissuration thermique, à la fissuration de fatigue et à l'arrachement ; ces caractéristiques contribuent à la réalisation de revêtements sécuritaires, durables et économiques.

3.1 Les types de béton bitumineux ordinaire :

Il existe plusieurs types d'enrobés bitumineux fins. Ils diffèrent les uns des autres par leurs caractéristiques et modes de réalisation. Le tableau 1 donne les types de bétons bitumineux les plus courants avec leurs utilisations. [6]

Tableau I.1 : Caractéristiques des BB courants

Appellation abrégée	Caractéristiques	Exemples d'utilisation
BBSG bétons bitumineux semi-grenus	Couches allant de 5 à 10 cm. Empêche les problèmes d'ornièrè. Résistance élevée face aux efforts.	Trafic réduit
BBME bétons bitumineux à module élevé		
BBS bétons bitumineux souples		
BBM bétons bitumineux minces	Excellente adhérence. Imperméabilise la chaussée.	Routes nationales.
BBDR bétons bitumineux drainants	Baisse significative du bruit Excellente adhérence par temps de pluie	Autoroutes, Voies express, ...
BBTM bétons bitumineux très minces	Couche de 2 à 3 cm	Chaussées à trafic important et rapide
BBUM bétons bitumineux ultra-minces	Couche de 1 à 1,5 cm	Revêtement urbain

I.4. ETAT DE L'ART SUR L'UTILISATION DES ENROBÉS BITUMINEUX

Tableau I.2 : Quelques études réalisés sur les enrobés bitumineux ordinaire

N	Titre	Auteur	Année	Résumé
1	ETUDE DE L'INFLUENCE DE PEBD SUR LE MODULE DES BÉTON BITUMINEUX À BASE SABLE DE DUNES	HAFIDOU Zahra	2019	Matériaux : BB avec sable de dunes en remplacement de sable de carrière 0/3 et d'un bitume modifié au PEBD. Essais : Marshall et traction indirect
2	ETUDE DE L'INFLUENCE DU PEHD SUR LE MODULE DE RIGIDITÉ DES BÉTONS BITUMINEUX À BASE DE SABLE DE DUNES	BENZID Abdelhamid	2019	Matériaux : BB avec sable de dunes + PEHD Essais : Marshall et ultrasons
3	ETUDE DES PROPRIÉTÉS D'UN NOUVEAU BETON BITUMINEUX A BASE DE SABLE DE DUNES POUR LES ROUTES DU SUD D'ALGERIE	KEBAILI N. KEBAILI M. DJOUHRI M.	2018	Matériaux : substituer la classe granulaire (0/3), utilisée dans BB, ordinaires, par le sable de dune issu d'Ouargla avec ajout éventuel d'un autre sable alluvionnaire local comme correctif. Essais : Marshall et Duriez
4	AMELIORATION DES PERFORMANCES MECANIQUES DU BETON BITUMINEUX SEMI-GRENU BBSG PAR AJOUT DE SABLE De Dunes	AKACEM M. MOULAY H. ABBOU M. KHELAFI H.	2018	Matériaux : Le sable concassé 0/3 est remplacée par le sable de dunes en proportion allant de 10 à 40%. Essais : Marshall & Duriez & tenue à l'eau.
5	ETUDE D'UN BETON BITUMINEUX A BASE DE SABLES DE DUNES	HELIL H. KHOUDJA N.	2017	Matériaux : BB avec sable de dunes en remplacer le gravillon (0/3) utilise actuellement par le sable Essais : Marshall et Duriez
6	UTILISATION DU SABLE DE DUNES EN TECHNIQUE ROUTIERE ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	BENOUAKHI R Abdel Hakim	2015	Les résultats de la synthèse bibliographique montrent la possibilité d'utiliser les sables de dunes dans la construction des routes, que ce soit dans la couche du roulement ou les couches d'assises, non pas seul mais avec l'emploi de stabilisants (ciment, chaux, poussière de cimenterie,...) à condition que les essais de durabilité donnent des résultats satisfaisants.

I.5. CONCLUSION:

Comme nous avons vu précédemment, le béton bitumineux est constitué de deux éléments principaux ; les granulats et le bitume. La liaison entre ces deux composants est très complexe et pour formuler un enrobé convenable plusieurs critères sont à prendre en considération telle que le trafic, les conditions climatiques et les matériaux existants...etc.

Le mélange bitume-agrégat obtenu doit avoir :

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

Chapitre II

Présentation des matériels utilisés

II .1 introduction

Dans ce chapitre de la première partie, nous allons aborder la présentation et l'importance de l'utilisation d'Hubbard Field.

Et le second chapitre est celui des expériences non destructrices, nous allons dépendre plus des ultrasons.

Donc dans ce chapitre, d'abord, nous allons présenter la définition des ultrasons, et puis le réglage matériel et cible, et le principe d'utilisation, et finalement le résultat qui résume toute l'information requise.

II .2 Hubbard Field

2. 1. INTRODUCTION ET APERÇU HISTORIQUE

L'essai de stabilité Hubbard Field est un essai qui traite la mesure de la stabilité d'un matériau fin traité par un liant hydrocarboné à une température et selon un mode de compactage donnés. Il permet de déterminer la tenue à l'eau et le pourcentage de vides.

Cet essai s'applique généralement aux mélanges hydrocarbonés de dimensions inférieures ou égales à 5mm et dont le liant est un bitume pur ou modifié.

La valeur de la stabilité donne une indication globale sur la qualité du mortier étudié.

Du point de vue historique, l'utilisation de l'essai de stabilité Hubbard Field comme test d'évaluation des performances des enrobés bitumineux fins en assises de chaussées a suivi la chronologie suivante ;

- 1920 : Charles Hubbard et Frederick Field développent la méthode de conception d'enrobés appelée Hubbard Field Méthode of Design.
- Entre 1920 et 1930 : utilisation courante de la méthode Hubbard Field par les départements des autoroutes des États dans les années.
- 1950 : premières applications du sable –bitume en Europe sous forme de stabilisation des sols en place.
- 1960 : poursuite de l'utilisation de la méthode dans certains États américains.
- 1968 : apparition d'une version modifiée d'Hubbard-Field pour les bétons bitumineux. [7]

2.2. DEFINITION ET BUT DE L'ESSAI HUBBARD FIELD

Selon la norme française pour les matériaux d'essai NF P98-251-3, le test Hubbard est un test de cisaillement de type extrusion effectué sur des échantillons de laboratoire.

Dans ce qui suit, on donne la méthode d'essai qui définit la procédure de préparation, de durcissement et de détermination de la stabilité Hubbard Field.

En plus de l'analyse volumétrique, la méthode Hubbard Field a utilisé un test de stabilité

où le mélange compacté est pressé à travers un anneau légèrement plus petit que le diamètre de l'échantillon. La charge de pointe subie avant que le mélange ne commence à

la stabilité Marshall où l'échantillon est chargé sur le côté et la charge maximale est la stabilité Marshall.

2.3. PRINCIPE DE L'ESSAI HUBBARD FIELD

Les éprouvettes nécessaires à la réalisation de l'essai sont fabriquées par damage et compactage statique à double effet. Les éprouvettes sont conservées dans des conditions définies avec immersion pour certaines ou sans immersion pour d'autres. La stabilité conventionnelle (à 18° C ou 60°) est la force maximale nécessaire pour provoquer l'extrusion de l'éprouvette à travers un anneau calibré. Le rapport de stabilités conventionnelles des éprouvettes avec immersion aux stabilités des éprouvettes sans immersion caractérise la tenue à l'eau.

2.4. APPAREILLAGE & COMPOSANTS

Les matériaux bitumineux utilisés dans les recherches en laboratoire doivent être du même type provenant de la même source d'approvisionnement ou de fabrication que les matériaux proposés pour une utilisation sur le terrain. Sauf indication contraire spécifiés ou approuvés, les matériaux bitumineux doivent être conformes aux exigences de la norme australienne appropriée (bitume, bitume fluidifié, émulsion de bitume ou goudron). [8]

L'appareillage pour exécution de l'essai Hubbard Field est donné comme suite ;

- a. une presse permettant le compactage et le maintien d'une charge de 42 KN à $\pm 5\%$ pendant 5min.
- b. une presse dont la vitesse d'avancement moyen à vide est de 1mm/set équipée d'un dispositif permettant de mesurer l'effort.
- c. Appareil de mélange avec un plateau, une truelle, une spatule et une pelle.
- d. Appareils de cantonnement tels que plaques métalliques
- e. Plats mélangeurs en métal.
- f. Moules en acier
- g. Une plaque de base en acier usiné.
- h. Une balance d'une capacité d'au moins 2kg.
- i. Une machine d'essai de stabilité de type Hubbard-Field
- j. Un ensemble de moules d'essai.
- k. Un four thermostat avec circulation d'air,
- l. Une éprouvette graduée 100ml
- m. Un mortier en porcelaine
- n. Un minimum de six moules cylindriques de compactage (voir figure 1)
- o. Une rehausse, 12 coquilles d'espacement (voir figure 2)
- p. Un minimum de six pistons de compactage et de compression.
- q. Deux pilons de damage en acier.
- r. un anneau d'essai en acier trempé
- s. un support d'anneau

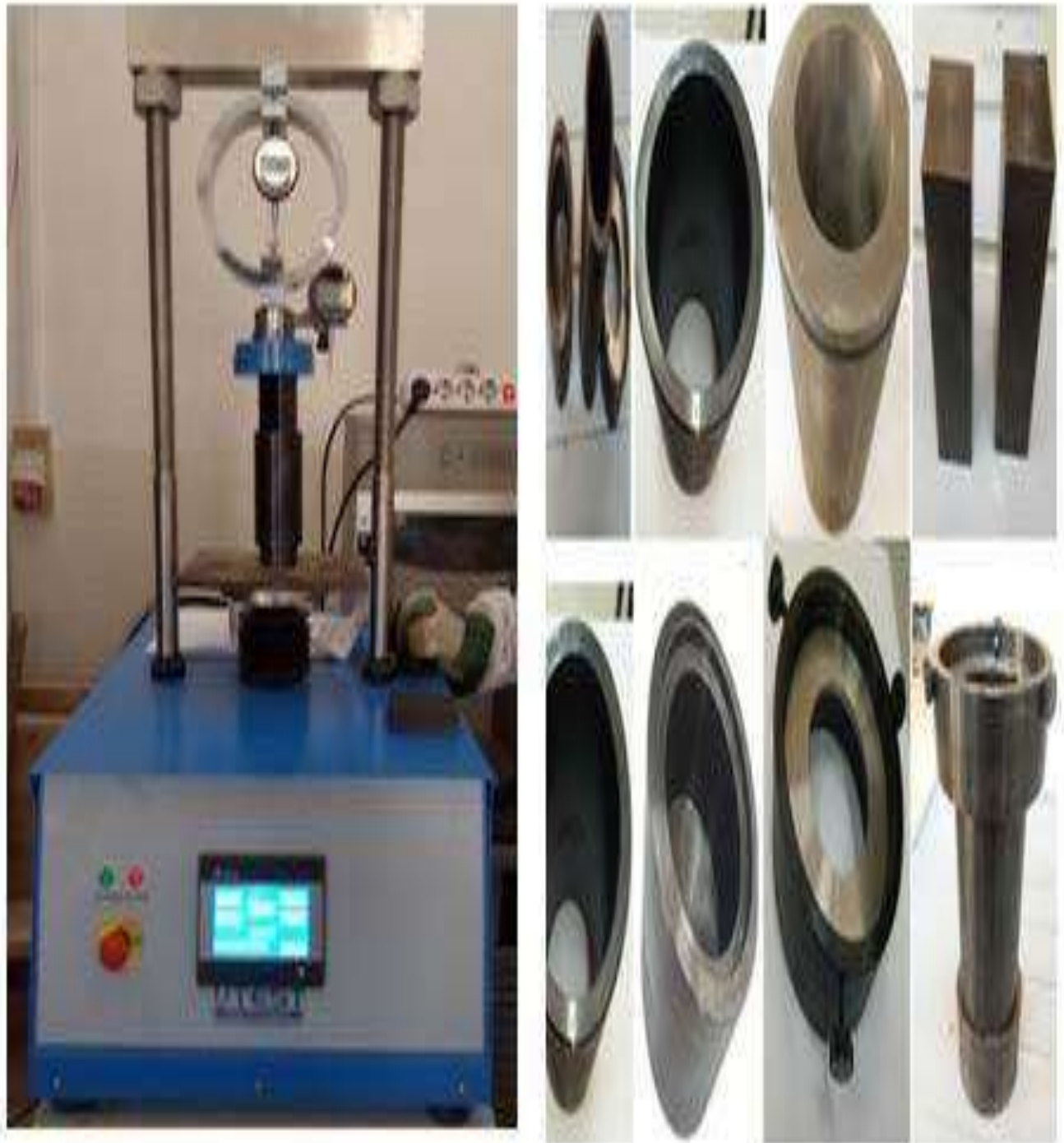


Figure II.1. Presse et équipements de l'essai Hubbard Field

2.5. ETAPES DE REALISATION DE L'ESSAI

- a. Séchage du sable à l'air libre ou à une température ne dépassant pas 50°C.
- b. Tamisage des échantillons au tamis AS-4,75mm.
- c. Bien mélanger tout le matériel dans la portion passant le tamis AS de 4,75mm.

2.6. PREPARATION ET DURCISSEMENT DES EPROUVETTES D'ESSAI

- a. Obtenir par quartiers ou riffing deux portions, chacune d'environ 250g de masse, à partir de l'échantillon préparé dans la préparation de l'échantillon (d)
- b. Peser le moule et enregistrer la masse (M2) à 0,5 g près. Assembler le moule, le collier et plaque de base et placez l'ensemble sur la fondation rigide. L'intérieur du moule doit être huilé avec une légère application d'huile de ricin. Essuyez tout excès d'huile
- b. Prendre une des portions de 250 g et déterminer la masse à 0,05 g près. Calculer le nécessaire quantité de matériau bitumineux en pourcentage en masse.
- a. Insérez le piston de compactage court d'environ 25 mm dans le fond du compacteur moule, convenablement soutenu pour maintenir sa position pendant le compactage initial
- b. Placer une partie du matériau dans le moule de manière à former un échantillon de 50 mm de diamètre sur 50 mm En hauteur
- c. Obtenir un compactage initial par 25 coups avec le dameur. Laisser le pilon tomber librement d'une hauteur de 152,4 mm au-dessus du fond de l'échantillon en cours de formation, et faites-le pivoter entre application des coups. Insérez ensuite le long piston de compactage dans le haut du compacteur moule, retirez le support du moule et placez l'ensemble dans le banc d'essai de compression machine
- c. Obtenir le compactage final en comprimant l'éprouvette à une vitesse constante de 25mm/min jusqu'à ce qu'une charge totale de 27kN est indiquée. Maintenez cette charge pendant deux minutes.
- d. Retirez le spécimen du moule, marquer le haut de l'échantillon comme tassé, puis peser et mesurer l'échantillon pour la moyenne hauteur et diamètre. La hauteur moyenne de l'éprouvette doit être de 50±2mm.
- a. Retirez la plaque de base, éjectez le spécimen compacté du moule et notez la masse du spécimen (M) à 0,5g près.
- b. Sécher les échantillons jusqu'à masse constante dans une étuve à 55-60°C.
- c. Enregistrer la masse (M1) après séchage et déterminer le diamètre moyen de l'éprouvette à 0,5mm près sur plusieurs diamètres
- d. Déterminer la teneur en humidité (w) du mélange à partir de la portion de matériau restant après préparation de l'éprouvette
- e. Placer l'échantillon dans de l'eau à température ambiante à une profondeur de 10 mm pendant 72h.
- f. Retirer l'échantillon de l'eau, sécher en surface et enregistrer la masse (M2)

2.7. DETERMINATION DE LA STABILITÉ

- a. Assembler le cylindre d'essai, l'anneau d'essai et le support d'anneau
- b. Placez le cylindre dans le moule d'essai avec la face vers le bas qui était vers le bas pendant le durcissement.
- c. Insérez le spécimen dans la grande extrémité du cylindre d'essai jusqu'à ce qu'il repose contre l'anneau d'essai, en forçant progressivement, si nécessaire, à l'aide du piston de compactage. Insérez le piston de test et guider dans la grande extrémité du moule d'essai jusqu'à ce qu'il repose sur le dessus de l'éprouvette.
- d. Centrez l'ensemble de l'ensemble d'essai sur la plate-forme de la machine d'essai de stabilité. Appliquez la charge à l'éprouvette à travers le piston d'essai, à une vitesse de déplacement constante de 25 mm/min.
- e. Enregistrement la stabilité, en tant que charge totale maximale requise pour provoquer la rupture de l'éprouvette, au plus proche 0,5kN

2.8. RAPPORTS**Définitions_symboles_abréviations**

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent :

- S stabilité Hubbard Field sans immersion, en déca newtons ;
- S stabilité Hubbard Field avec immersion totale ou imbibition, en centimètres ;
- H_1 hauteur moyenne de l'éprouvette avant immersion, en centimètres ;
- H_2 hauteur moyenne de l'éprouvette après immersion, en centimètres ;
- D_1 diamètre moyen de l'éprouvette avant immersion, en centimètres ;
- D_2 diamètre moyen de l'éprouvette après immersion, en centimètres ;
- V_1 volume moyen de l'éprouvette avant immersion, en centimètres cubes ;
- V_2 volume moyen de l'éprouvette après immersion, en centimètres cubes ;
- M_1 masse moyenne de l'éprouvette avant immersion, en grammes ;
- M_2 masse moyenne de l'éprouvette après immersion, en grammes ;
- MV_a masse volumique apparente géométrique de l'éprouvette ;
- M masse de mélange correspondant à une hauteur théorique de 25 mm

Indiquez les détails suivants pour chaque paire d'éprouvettes, le cas échéant :

- a. Type et source d'additif
- b. Contenu additif
- c. Quantité de fraise utilisée (le cas échéant) et teneur en humidité à laquelle le liant a été ajouté
- d. Teneur en eau à laquelle les spécimens ont été compactés
- e. Source d'eau si une émulsion de bitume a été utilisée
- f. Absorption d'eau
- g. Stabilité (Hubbard-Field) au 0,5 KN près

Préparation des éprouvettes

Les constituants (granulats, liant, additifs) sont pesés à 0,1 g près en quantité suffisante pour réaliser six éprouvettes au moins.

Ils sont portés à la température de référence définie comme suit :

- bitume 180/220: $130 \pm 5^\circ\text{C}$
- bitume 80/100: $140 \pm 5^\circ\text{C}$
- bitume60/70 : $150 \pm 5^\circ\text{C}$
- bitume40/50 : $160 \pm 5^\circ\text{C}$
- bitume20/30 : $180 \pm 5^\circ\text{C}$

Tableau II.1 : Température de référence des bitumes fluidifiés ou fluxés selon NF T 66-005

Pseudo viscosité STV 25 °C, 10 mm	Température de référence
Inférieure à 50 s	ambiante
Inférieure à 400 s et supérieure ou égale à 50 s	$60 \pm 5^\circ\text{C}$
Supérieure à 400 s	$100 \pm 5^\circ\text{C}$

Séchage des mélanges hydrocarbonés

Les matériaux enrobés aux bitumes fluidifiés, fluxés ou avec des émulsions anioniques de bitume, doivent subir un séchage avant compactage.

Dès la fin du malaxage, les matériaux enrobés sont étalés sur une plaque métallique de dimensions telles que la totalité du matériau soit mise à sécher sur une épaisseur de quelques millimètres ; la plaque métallique est placée pendant 16h + 1 h dans une enceinte ventilée réglée de façon à ce que dans la zone de séchage la température soit à $60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Pour mieux connaître l'importance de ce séchage sur le résultat, ce temps pourra donner lieu à des variations ; elles seront précisées dans le rapport d'essais.

Détermination préalable de la masse des éprouvettes

La masse des éprouvettes est déterminée par exécution d'une éprouvette témoin, d'une masse indicative de $100\text{g} \pm 1\text{g}$ compactée dans les mêmes conditions que les éprouvettes d'essai.

A partir de trois mesures de la hauteur réparties sur le pourtour de l'éprouvette témoin, la masse m correspondant à une éprouvette de hauteur théorique de 25 mm est calculée.

Compactage des éprouvettes

Les six moules, les pistons, et les pilons de damage sont portés à la température de référence de préparation des mélanges pendant 2 h au minimum.

La masse $m + 1\text{ g}$ de mélange hydrocarboné est placée dans chacun des moules munis des coquilles d'espacement et de leur plaque de base qui sont ensuite réintroduits dans l'étuve entre 1/2h et 2h pour être maintenus à la température de référence.

2.9. MODE OPERATOIRE**Conservation des éprouvettes**

Les six éprouvettes sont conservées pendant 24h à $18 \pm 1^\circ\text{C}$ et $50 \pm 10\%$ d'hygrométrie ; passé ce délai, un lot de trois est conservé à sec pendant 7 jours dans ces conditions et l'autre lot est soumis à l'action de l'eau à $18 \pm 1^\circ\text{C}$ durant le même temps.

L'action de l'eau est évaluée selon l'un des deux modes :

- immersion totale;
- imbibition à la base.

Le mode adopté doit être précisé dans le rapport d'essais.

A l'issue de cette période de conservation, les éprouvettes ayant subi l'essai de tenue à l'eau sont à nouveau pesées et mesurées dans les mêmes conditions qu'en début de conservation. Soit m_2 la masse moyenne, h_2 et d_2 la hauteur et le diamètre moyens de ces éprouvettes.

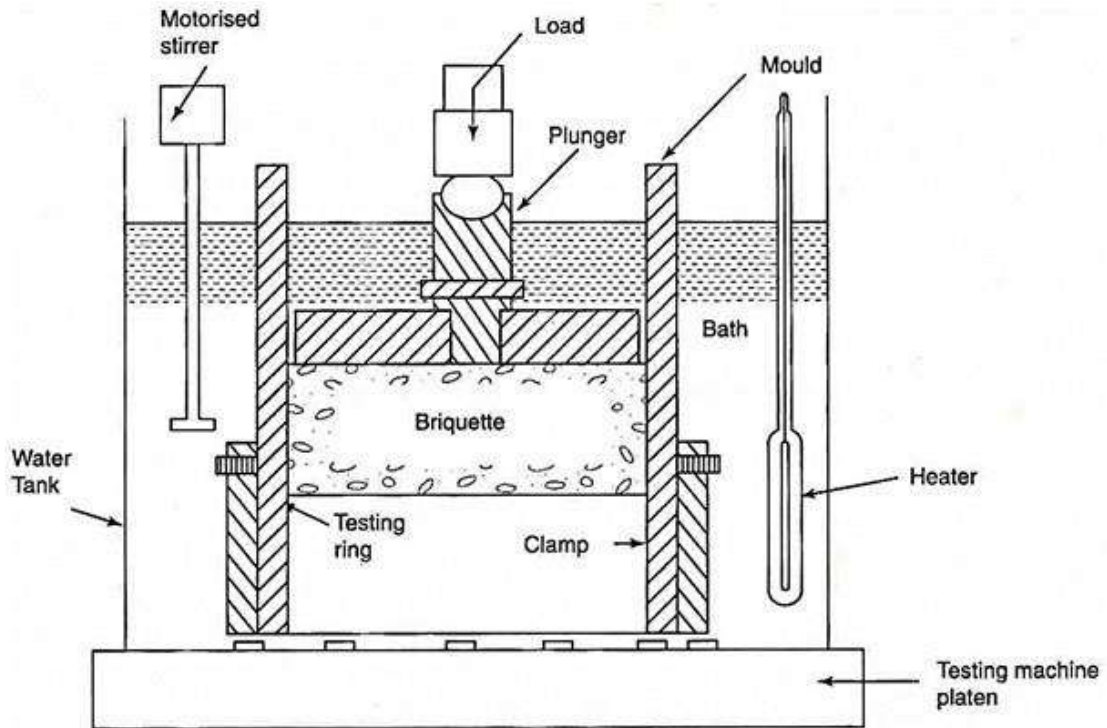


Figure II.2. Modifie Hubbard -Field test Set-Up

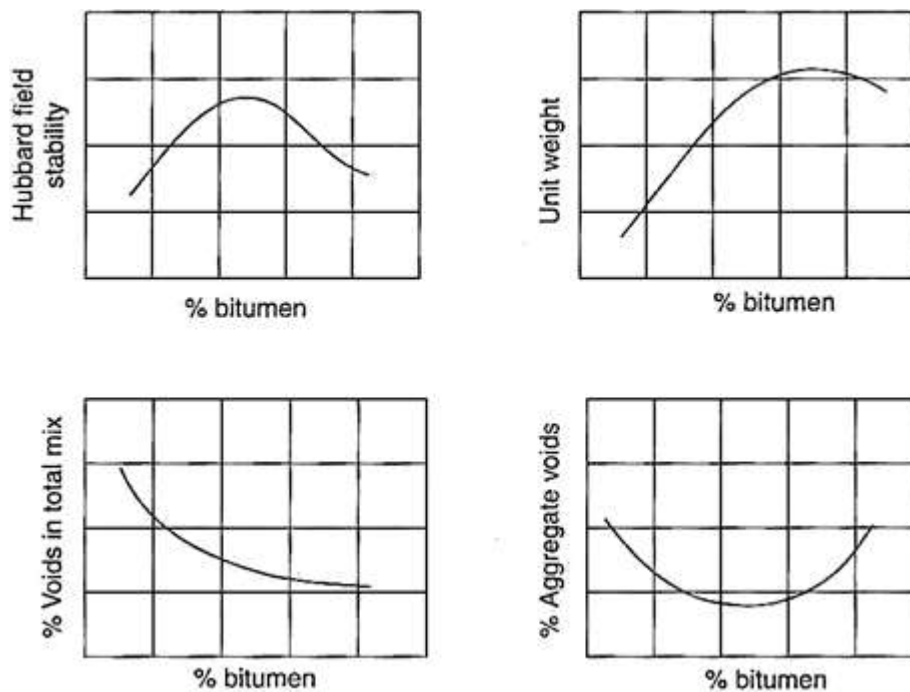


Figure II.3. Typical plots in modified Hubbard –Field method of bituminous

II.3. ESSAIS ULTRASONIQUES

3.1. Définition

Les méthodes traditionnelles d'évaluation des propriétés mécaniques des chaussées sont généralement coûteuses, car des carottes sont forées et expédiées à un laboratoire pour tester les performances correspondantes. Pour éviter les travaux fastidieux et les dommages causés à la chaussée par le carottage, des techniques de contrôle non destructif (CND) peuvent être appliquées en remplacement, telles que le géo radar (GPR), l'analyse spectrale des ondes de surface (SASW) et la technologie de contrôle par ultrasons. (UTAH). La technologie de test par ultrasons est l'une des méthodes de test non destructif les plus largement utilisées, dans laquelle les ondes ultrasonores sont excitées par un transducteur à ultrasons, propagées à travers un milieu et reçues par le transducteur à l'autre extrémité. Ces ondes élastiques comprennent les ondes longitudinales et de cisaillement. En termes d'ondes longitudinales, la vibration des particules se produit dans la direction parallèle à la propagation des ondes, alors que pour les ondes de cisaillement, les particules vibrent dans la direction perpendiculaire à la propagation des ondes.

3.2. Étalonnage de l'appareil :

L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation.

L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige d'étalonnage dont le temps est connu à l'avance. Il faut ajuster l'ultrason dans le cas où le temps mesuré ne correspond pas à celui marqué sur la tige d'étalonnage.

3.3. Historique :

L'essai non destructif du béton est de grande importance scientifique et pratique.

Le sujet a suscité l'attention croissante pendant ces dernières années, particulièrement le Besoin de caractérisation de la qualité des constructions endommagées faites en béton, en utilisant des méthodes non destructives.

Une gamme d'essais non destructifs in-situ, a été développée, par tant de chercheurs

Dans ce domaine : Le premier essai non destructif à été réalisé par WILLIAMS EN (1936), en suite et pendant le développement de domaine de construction, ERNEST SCHMILT (1948), JONES (1962), WHITEHURST (1966), MALHOTRA (1976) ont Présenté une enquête complète de littérature sur les méthodes non destructives normalement utilisées pour l'essai et l'évaluation du béton, BUNGEY (1982). Au milieu des années soixante SKRAMTAEV ET LESHCHINSKY (1966) ont proposé pour la première fois l'utilisation de deux méthodes non destructifs ensemble, et le travail le plus fondamental à ce sujet a été présenté par FACAOARU (1969). En (1991) Les HCHINSKY a récapitulé les avantages des essais non destructifs comme réduction de la consommation de travail de l'essai, une diminution de la consommation de travail des travaux préparatoires, un peu de dommages structuraux, une possibilité d'examiner la résistance en structures ne peuvent pas être forés avec application de moins d'équipement d'essai cher, par rapport à l'essai destructif. Ces avantages sont sans valeur si les résultats ne sont pas fiables, représentatif, et aussi étroitement comme possible à la force réelle de la partie examinée de la structure.

3.4. But et principe d'utilisation :

Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et apportent de surcroît une réponse globale à l'échelle d'une structure ou d'un ouvrage, dans le cadre de contrôles d'ouvrages neufs ou en construction comme de diagnostics d'état d'ouvrages anciens.



Figure II.4 : De apparie ULTRASONIQUES

3.5. Principales normes d'application :

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. D'après LESLIE et CHEESMAN, l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée.

Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU (1969).

La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

3.6. Modes opératoires :**3.6.1. Travaux préparatoires :**

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé,
- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériaux d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.

3.6.2. Points de mesures :

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points.

Distances minimales entre points de mesures

On recommande une distance minimale de parcours de 400 mm pour les mesures en surface.

3.7. Manières de mesure :

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :

3.7.1. Mesure en transparence (directe) :

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. Figure II.4.

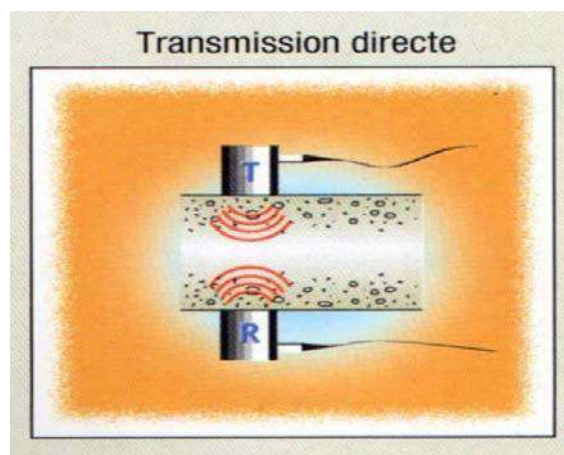


Figure II.5 : Indique la méthode de mesure directe

3.7.2. Mesures en surface (indirecte) :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur Figure II.5.

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

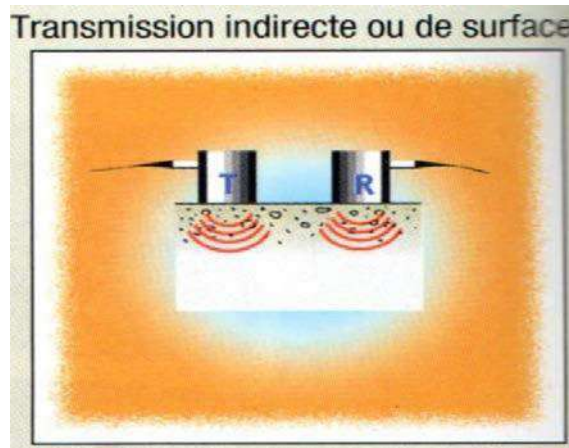


Figure II.6 : Indique la méthode de mesure indirecte

3.7.3. Mesures semi directe :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure où on ne peut pas utiliser les deux autres manières Figure II.6.

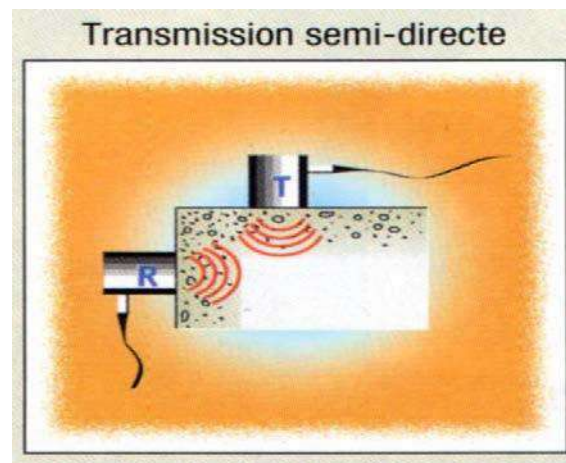


Figure II.7 : Indique la méthode de Mesures semi directe

3.8. Avantage :

- Sensible aux discontinuités superficielles et souterraines.
- Pénétration plus profonde pour détecter ou mesurer un défaut que les autres méthodes NPT.
- Seul un accès unilatéral est requis lors de l'utilisation du Pulse Echo.
- Haute précision dans la localisation du réflecteur et l'estimation de sa taille et de sa forme

- Une préparation minimale des pièces est requise.
- Des images détaillées peuvent être produites avec des systèmes automatisés.
- Il n'est pas dangereux pour les opérateurs ou le personnel à proximité et n'affecte pas le matériau testé.
- Il a d'autres utilisations, telles que la mesure de l'épaisseur, en plus de la détection des défauts.
- Ses équipements peuvent être hautement portables ou hautement automatisés.

3.9. Inconvénients :

- La surface doit être accessible pour transmettre les ultrasons.
- Les compétences et la formation sont plus étendues qu'avec d'autres méthodes.
- Il nécessite normalement un milieu de couplage pour favoriser le transfert de l'énergie sonore dans l'échantillon d'essai.
- Les matériaux rugueux, de forme irrégulière, très petite, exceptionnellement mince ou non homogène sont difficiles à inspecter.

Dans ce chapitre, nous avons discuté du test principal effectué sous la forme "d'ultrasons".

Ce test a été choisi pour la vitesse des ultrasons et le temps nécessaire aux ondes pour traverser l'échantillon, à partir duquel le rapport d'intensité peut être déduit.

II.4. Conclusion

Nous avons présenté ici Hubbard Field et les ultrasons, et nous avons trouvé leurs caractéristiques, leurs traits distinctifs, leur usage, Ces deux instruments sont les plus importants utilisés dans l'étude.

L'essai Hubbard Field reste le plus utilisé dans le cas du béton bitumineux fins à base de sables comme le cas de notre présente étude

Partie 2 :

Etude Experimentale

CHAPITRE III

MATÉRIAUX UTILISÉS ET FORMULATION

CHAPITRE III MATÉRIAUX UTILISÉS ET FORMULATION

III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de présenter les matériaux utilisés dans le cadre de cette étude et les divers essais et techniques réalisés pour identifier et caractériser le béton bitumineux à base de sables Hassi Essayeh testé. Les principaux éléments influençant la résistance mécanique et le fluage des bétons bitumineux sont :

- Le squelette minéral (granulats)
- Le type et la teneur en liant utilisé

Tous ces éléments doivent être analysés par le concepteur afin de proposer un mélange correspondant aux caractéristiques optimales en termes de résistance mécanique et de susceptibilité thermique. Dans nos expériences, on a utilisé les matériaux ci-après.

III.2. MATERIAUX UTILISÉS

Nous nous intéressons ici aux matériaux traités aux liants hydrocarbonés à chaud, enrobés bitumineux, sables et bitume, qui résultent du mélange de granulats et de liant hydrocarboné avec éventuellement des additifs, dosés, chauffés et malaxés en centrale. Pour étudier une formulation pour une couche de chaussée, trois étapes s'avèrent essentielles : La composition granulométrique, la teneur en liant et les caractéristiques de l'enrobé.

2.1. Le bitume

Le liant hydrocarboné utilisé dans ce projet est un bitume pur de classe 40/50 provenant des fondoirs de la centrale d'enrobage de la société NAFTAL sise à Ouargla. Le tableau III.1 montre le bitume servant aux différents essais.



Figure III.1 Bitume 40/50 utilisé

Après réalisation des essais d'identification des bitumes au laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS-Ouargla). On a obtenu les résultats moyens suivants :

Tableau III.1. Caractéristiques du bitume utilisé

Essai	Résultat	Spécifications	Unité	Norme
Pénétrabilité à 25 °C	41	40 à 50	0,1mm	EN /1426
Ramollissement bille	49	47 à 60	°C	EN1427
Densité relative (g/cm ³)	1.006	1.00 à 1.10	g/cm ³	EN 1526
Point d'éclair	170.6	40 à 500	°C	NF T 66-004

2.1.1. Principe et description d'appareillage :

L'approche expérimentale, pour les liants, est effectuée à l'aide des deux essais de caractérisation des bitumes ; il s'agit de l'essai de ramollissement bille et anneau et de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille.

Malgré la simplicité qui leur est accordée, ces deux essais demeurent les plus utilisés pour définir et classer les bitumes routiers.

Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF EN 1426-Décembre 1999) :

La pénétrabilité est un essai de classification de bitume ; elle concerne à classer le bitume selon des intervalles des valeurs des profondeurs auxquelles une aiguille les pénétrera dans des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge.

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.

Les conditions d'opération s'appliquent aux pénétrations inférieures ou égales à 50mm.

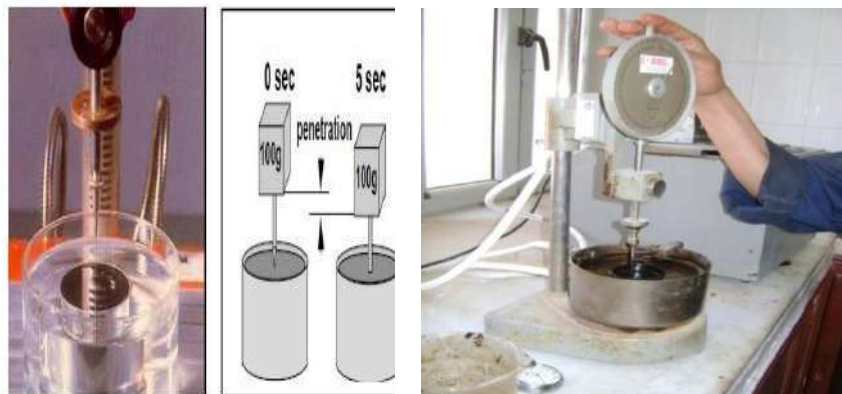


Figure III.2. Principe et dispositif de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille

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

Essai de ramollissement Bille & Anneau (NF EN 1427-Janvier 2000) :

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 Fig. III.2.

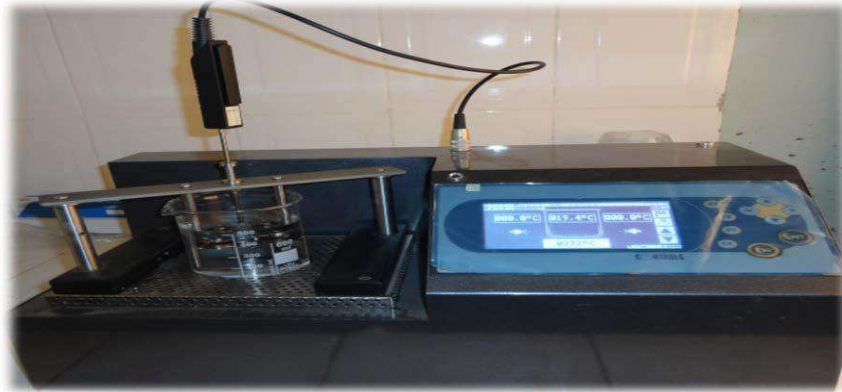


Figure III.3. Appareil digital de ramollissement Bille et Anneau

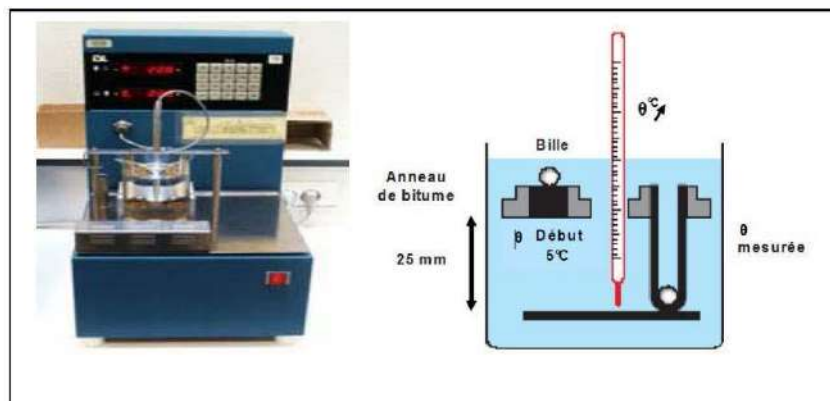


Figure III.4. Schéma de détermination du point de ramollissement

2.2. Le sable :

Le sable alluvionnaire a été ramené de la carrière de Hassi Essayeh qui se trouve à environ 30km sur la route nationale, en direction de Hassi Messaoud du côté gauche.



Figure III.5. Le sable alluvionnaire

2.2.1. Caractéristiques du sable utilisé : Le tableau III.2 expose les caractéristiques de ces différents matériaux, il présente les résultats de l'essai de la masses volumique absolue et apparente selon la norme NF-P 18-301.

Tableau III.2. Masses volumiques absolues et apparentes

Type d'agrégats	γ_s (g/cm ³)	γ_a (g/cm ³)
Sable alluvionnaire	1.54	2.56

Le tableau III.3 regroupe les pourcentages des tamisât conformément à la norme NF-P 18-560 pour les différents sables utilisés.

Tableau III.3. Pourcentage des tamisât du sable utilisé

Tamis (mm)	4	3,15	2,5	2	1,25	1	0,8	0,63	0,315	0,2	0,16	0,08	0
Sable (%)	99,94	99,8	99,56	97,56	90,29	85,29	82,29	67,07	22,07	17,07	6,21	1,51	0.54



Figure III. 6. Analyse granulométrique du sable

Le tableau ci-dessus montre les pourcentages des tamisât en fonction des dimensions des particules de sable. La courbe granulométrique est montrée en figure ci-dessous

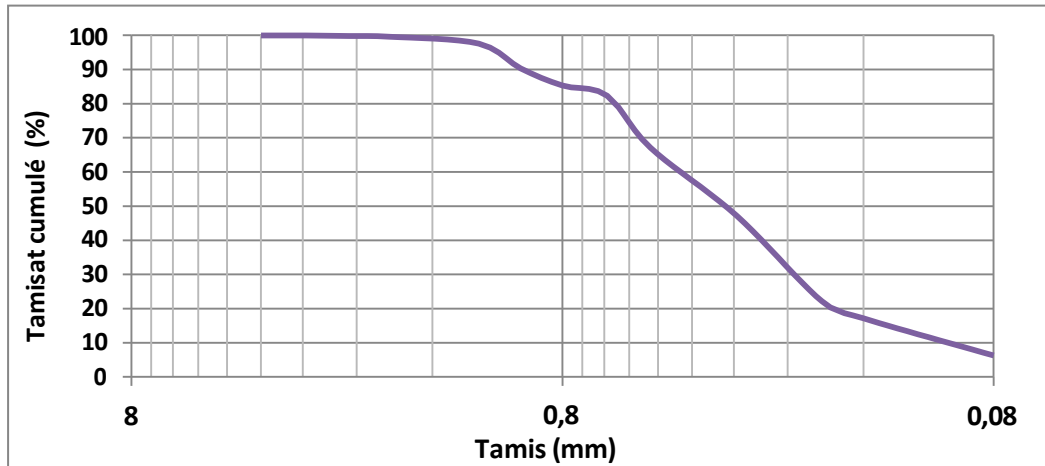


Figure III.7. Courbe granulométrique moyenne du sable alluvionnaire

La courbe granulométrique montre que le sable utilisé se compose de :

- ✓ 5% de graviers d'un diamètre compris entre 2mm et 5mm
- ✓ 85% de gros sable d'un diamètre compris entre 0,2mm et 2mm
- ✓ 10% de sable fin d'un diamètre compris entre 0,1mm et 0,2mm.



Fuseau de référence de sable et Analyse chimique du sable

Tableau III.4. Pourcentage des différents composants

Tamis	2,5	2,0	1,3	1,0	0,8	0,63	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0
Sable	100	98	90	85,3	82	67,1	47	22	17	6,2	1,5	0,5
Min		80	75	66	50	41	25	15	5	3	0	
Max		100	99	97	95	92	90	77	60	20	10	

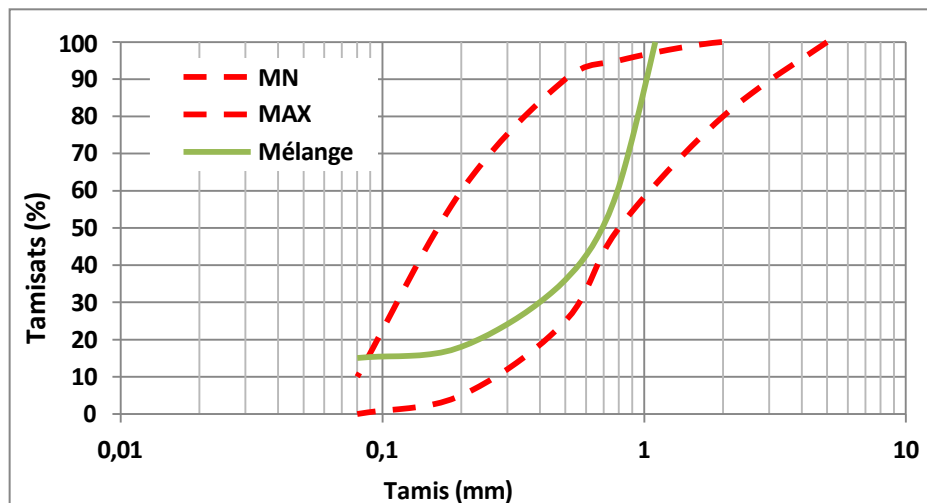


Figure III.8. Courbe granulométrique du sable et fuseau de référence

L'analyse chimique sommaire des granulats consiste à déterminer les teneurs des composants suivants :

- Les insolubles.

- Les carbonates CaCO_3 .
- Les chlorures Na Cl .
- Les sulfates CaSO_4 .

Les résultats chimiques conformément à la norme française NF 15-461 effectués dans le but de déterminer le taux des différents composants sont exposés dans le tableau (III.4).

Tableau III.5. Analyses chimiques du Sable alluvionnaire utilisés

Essai	Composant	Pourcentage (%)
Insolubles N F P 15 -451	Insolubles	90.7%
Sulphates BS 1377	SO_3^{-2}	0.0343%
	$\text{Ca SO}_4/2\text{H}_2\text{O}$	0.073%
	SO_4^{-2}	0.0412%
Carbonates N F P 15 -461	CaCO_3	0
Chlorides MOR Method	Cl^-	0.0141%
	NaCl^+	0.023%

Les résultats relatifs à l'essai d'équivalent de sable trouvés sont mentionnés dans le tableau III.5

Tableau III.6. Equivalent de sable mesuré.

Type de sable	Sable alluvionnaire
Es (%)	68.92

Les valeurs trouvées sont supérieures à la valeur recommandée ($\text{ES} > 45$) c'est-à-dire que ce sable est propre.

2.3. Détermination du dosage en bitume optimal :

D’après cette analyse, on détermine les différentes fractions servant à formuler notre béton qui sont G, S, s et f respectivement les proportions d’éléments tels que :

- G : pourcentage d’éléments > 6,3 mm,
- S : pourcentage d’éléments compris entre 6,3 et 0,315mm,
- s : pourcentage d’éléments compris entre 0,315 et 0,08mm,
- f : pourcentage d’éléments < 0,08 mm.

Suivant la courbe granulométrique du sable de Hassi Essayeh, les valeurs de ces derniers sont respectivement :

$$G= 0\%, \quad S=78\%, \quad s=20\% \quad \text{et } f=2\%.$$

• **Coefficient correcteur de la masse volumique α :** $\alpha = \frac{2.65}{MVRg}$

Détermination de la surface spécifique

La surface spécifique « Σ » des granulats est donnée par la relation :

• **Surface spécifique de mélange :**

$$100. \Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f$$

$$\Sigma = (0.25 \times 0 + 2.3 \times 78 + 12 \times 20 + 135 \times 2) / 100$$

La surface spécifique correspondante est $\Sigma = 6.89 \text{ m}^2/\text{kg}$

Détermination de la teneur en bitume :

La teneur en liant est déterminée en pourcentage du poids des agrégats selon la méthode de calcul suivante :

$$T = \alpha . K \sqrt[5]{\Sigma}$$

α : Coefficient correcteur tenant compte de la masse volumique des agrégats ($\alpha = 1,04$)

La teneur en liant «T» est déduite de la surface spécifique « Σ » correspondant à un module de richesse «K» choisi en fonction de l’importance du trafic :

En faisant varier le module de richesse K dans l’intervalle relatif des BB, la teneur en liant peut prendre les valeurs consignées dans le tableau III.7

Tableau III.7. Teneurs en liant pour différentes valeurs du module de richesse

Module de Richesse (K)	3,45	3,60	3,75	3,90
Teneur en Liant (%)	5.28	5.51	5.74	5.97

III.3. CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a présenté les principales étapes expérimentales pour mesurer les propriétés mécaniques des mélanges testés et comment déterminer les différents paramètres ou grandeurs de chaque essai, soit l'essai Hubbard Field ou l'essai ultrasonique.

Les deux principaux paramètres issus des essais sont premièrement la stabilité qui est définie par la charge et le deuxième le pourcentage de vide défini par la hauteur. Nous complétons ce chapitre par l'exposition et les définitions des paramètres supplémentaires issus des deux essais précédents.

Nous allons voir dans le chapitre suivant les résultats trouvés pour chaque essai. En dernier lieu, on note que les essais effectués pendant la campagne expérimentale, ont donné des résultats qualitatifs très intéressants et riches en renseignements, ils seront exposés dans le chapitre qui suit avec leurs interprétations.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

**CHAPITRE IV
RESULTATS ET DISCUSSION****IV .1 INTRODUCTION**

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats et les analyses des essais de terrain de Hubbard Field et ultrasonique et ceux du béton bitumineux réalisés à base de matériaux locaux, dans le laboratoire du département de Génie Civil et Hydraulique de l'université d'Ouargla.

IV .2 ANALYSE DES RESULTATS 01

Dans le but de trouver le bon mélange à partir du test de stabilité Hubbard Field et des essais ultrasoniques, les différents paramètres tels que la stabilité, le fluage et la vitesse sont déterminées en fonction des dosages en bitume(%) et ce à différentes températures de conservation : 20°C, 40°C et 60°C.

Le tableau IV.1 présente un résumé des résultats de formulation en termes de type de bitume à chaque dosage dans les quatre cas.

Tableau IV.1 Récapitulatif des résultats de Formulation

Bit (%)	Stabilité (KN)			Fluage (mm)			Vitesse sonique avant conservation (m/s)			Vitesse sonique après conservation (m/s)		
	20°C	40°C	60°C	20°C	40°C	60°C	20°C	40°C	60°C	20°C	40°C	60°C
5,28	4,46	2,79	2,99	0,41	0,77	0,65	2197,16	2088,27	888,18	2197,16	5220,68	978,41
5,51	2,71	1,90	0,71	0,19	0,10	0,48	2228,68	2228,68	1673,80	2228,68	2156,42	1809,25
5,74	3,16	4,11	1,26	0,20	0,26	0,13	2213,77	2189,78	1710,32	2213,77	2205,88	1729,12
5,97	3,00	2,72	0,49	0,25	0,18	0,11	2506,40	1931,52	1662,11	2506,40	1885,80	1735,16

Tableau IV.2 Récapitulatif des résultats des essais avec 5,75% de bitume (meilleur dosage)

Epr	Poids (g)	Haut (mm)	Volume (mm ³)	Y (kg/cm ²)	V1 (m/s)	T (°C)	V2 (m/s)	Stabilité (KN)	Fluage (mm)	T1 (µs)	T2 (µs)
01	100,90	25,89	52474,63	1,92	1810,49	20	1810,49	3,88	0,15	14,30	14,30
02	100,40	25,06	50792,36	1,98	1790,00	20	1790,00	2,47	0,19	14,00	14,00
03	101,60	25,91	52515,17	1,93	2024,22	20	2024,22	2,27	0,12	12,80	12,80
04	100,80	26,44	53589,39	1,88	1729,23	40	1259,05	1,48	0,22	15,29	21,00
05	100,50	26,03	52758,38	1,90	1852,67	40	1188,58	1,48	0,18	14,05	21,90
06	100,70	26,15	53001,60	1,90	2042,97	40	1334,18	1,15	0,14	12,8	19,60
07	99,40	26,78	54278,51	1,83	1751,47	60	226,95	1,05	0,22	15,29	118,00
08	99,80	26,53	53771,80	1,86	2011,37	60	250,52	1,43	0,22	13,19	105,90
09	100,00	26,98	54683,87	1,83	1861,97	60	99,19	0,47	0,19	14,49	272,00

Le tableau IV.1 représente le résumé des résultats de la formulation. A travers lequel nous avons calculé la proportion de bitume et de sable pour chaque dose. Les teneurs en bitume calculées sont : 5,28 ; 5,51 ; 5,74 et 5,97%.

Nous avons pris une proportion de sable et de bitume et nous l'avons mélangé, et nous avons obtenu un mélange cohérent pour chaque dosage, et nous avons extrait 36 échantillons pour trouver le meilleur mélange approprié sur lequel nous allons s'appuyer pendant notre expérience, et à travers ces résultats, nous avons abordé certaines étapes de l'expérience, qui sont :

- 1- Réglage de l'échantillon 24H
- 2- Calcul du volume : $V = [(\pi \times D^2)/4] \times H$
- 3- Calcul de la masse volumique : $Mv = m/v$
- 4- Pesage du mélange à 100 g avant moulage.
- 5- Pesage de l'échantillon après moulage.
- 6- Mesure de la hauteur de l'échantillon à l'aide d'une règle millimétrée.
- 7- Mesure du diamètre de l'échantillon = 50.8mm.

Après ces étapes dans chaque dose, nous prélevons des échantillons et les divisons en partie à 20°C, et en partie nous calculons la vitesse des ondes sonores avant et après lorsqu'il est placé à une température de 40°C et 60°C. Pour l'étude de la stabilité et du fluage, toutes ces étapes ont leurs résultats dans le tableau.

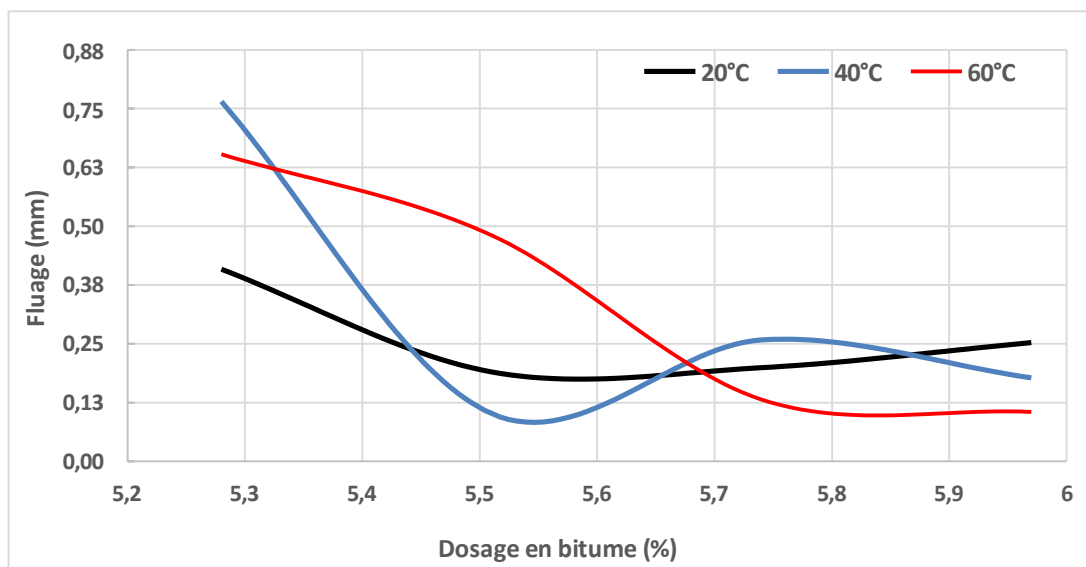


Figure IV.1 Evolution du fluage en fonction du dosage en bitume

Selon la figure IV.1, on remarque que le dosage 5,75% présente les résultats moyens de fluage optimaux et ce pour les trois températures de conservation. A cet effet, ce dosage est pris comme référence pour les prochains essais de formulation.

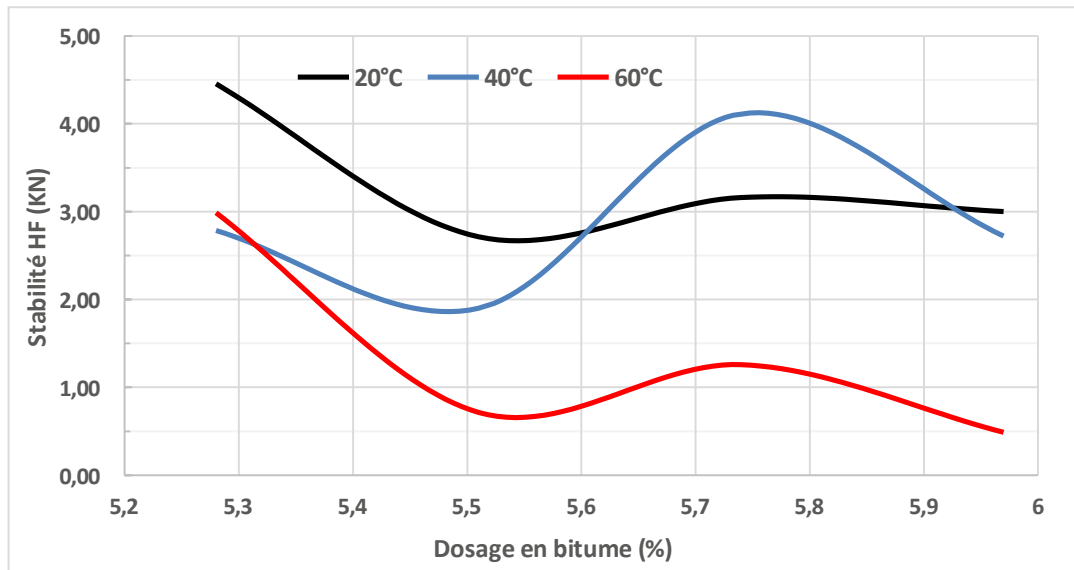


Figure IV.2 Evolution de la stabilité en fonction du dosage en bitume

La courbe donnée en figure IV.2 représente les changements de stabilité en termes de dosage en bitume.

A partir de l'analyse, on remarque que le dosage (5.75%) reflète les meilleurs résultats pour les températures 20 et 40 °C.

Après le dosage (5.75%), les stabilités diminuent sensiblement. Mais la stabilité est très faible jusqu'à ce qu'il se stabilise A 60°C.

IV .3 ANALYSE DES RESULTATS 02

Le tableau IV.2 présente les résultats obtenus avec le meilleur dosage qui est de 5,75%. Les résultats concernent les stabilités, le fluage et les vitesses soniques avant et après conservation à différentes températures.

Les graphiques en figures IV.3 à IV.9 représentent les évolutions de la stabilité, du fluage et de la vitesse à des températures de 20°, 40° et 60° pour le meilleur dosage qui est de 5,75%.

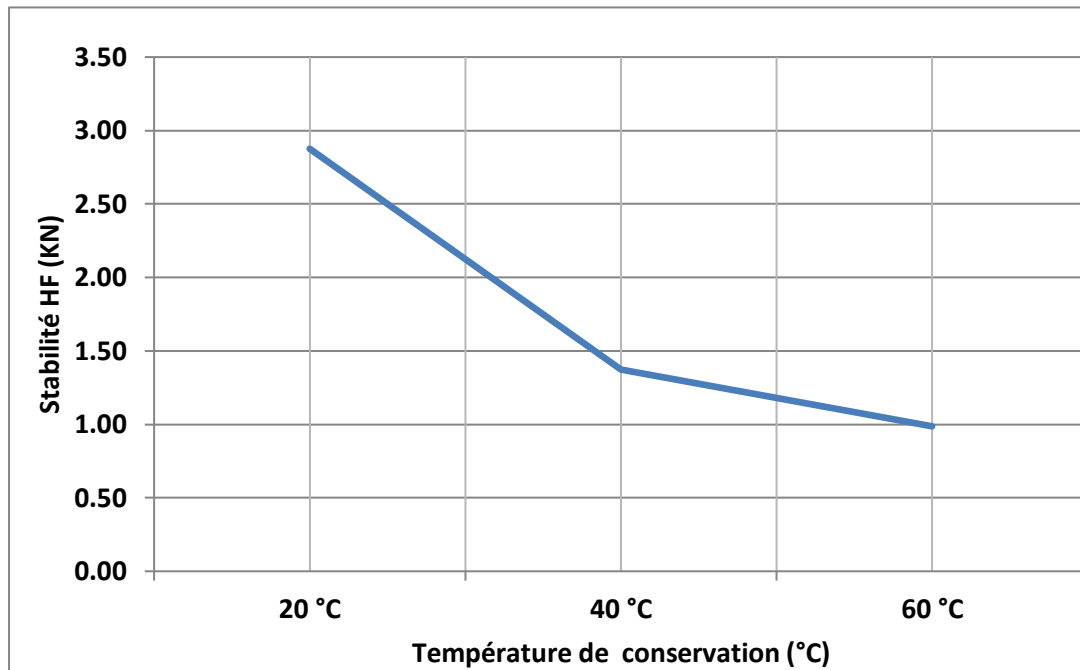


Figure IV.3 Evolution de la stabilité en fonction de la température

La courbe de la figure IV.3 représente l'évolution du degré de stabilité en fonction de la température.

On remarque que chaque fois que la température augmente, cela correspond à une diminution de la stabilité, où elle commence par un maximum de 2,88 KN à la température de 20°C, puis elle diminue progressivement jusqu'à la valeur à 1,37 KN à 40°C. A partir de cette température, une diminution est enregistrée pour atteindre 0,99 KN à 60°C.

Nous concluons que la plus grande stabilité étudiée est enregistrée à 20°C.

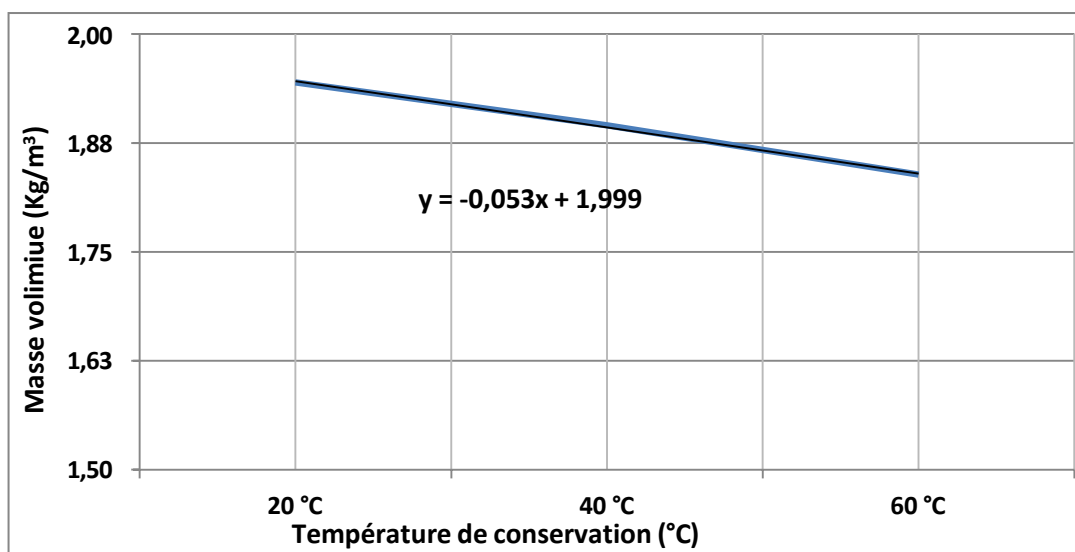


Figure IV.4 Variations de la masse volumique en fonction de la température

D'après l'analyse de la figure IV.4 qui représente l'évolution de la densité selon la température, on remarque la densité et la température sont reliées par une relation linéaire à 20°C. La plus grande valeur de densité est obtenue à 20 °C tandis-que la valeur de la masse volumique la plus faible est retenue à 60 °C.

La masse volumique est affectée par l'augmentation de la température et provoque ainsi une diminution de la force portante de l'échantillon pour tout type de pression.

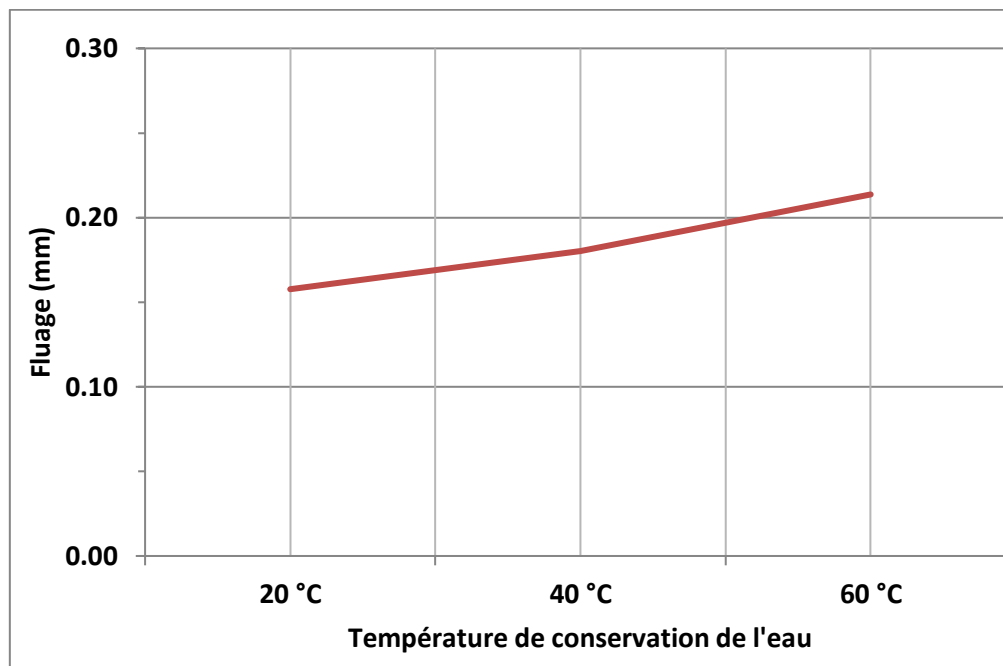


Figure IV.5 Evolution du fluage en fonction de la température

La figure IV.5 représente l'évolution du fluage en fonction de la température. On remarque que les deux paramètres sont reliés de façon linéaire telle que lorsque la température augmente, le fluage augmente directement.

Nous constatons que la déformation la plus faible est rencontrée à 20°C.

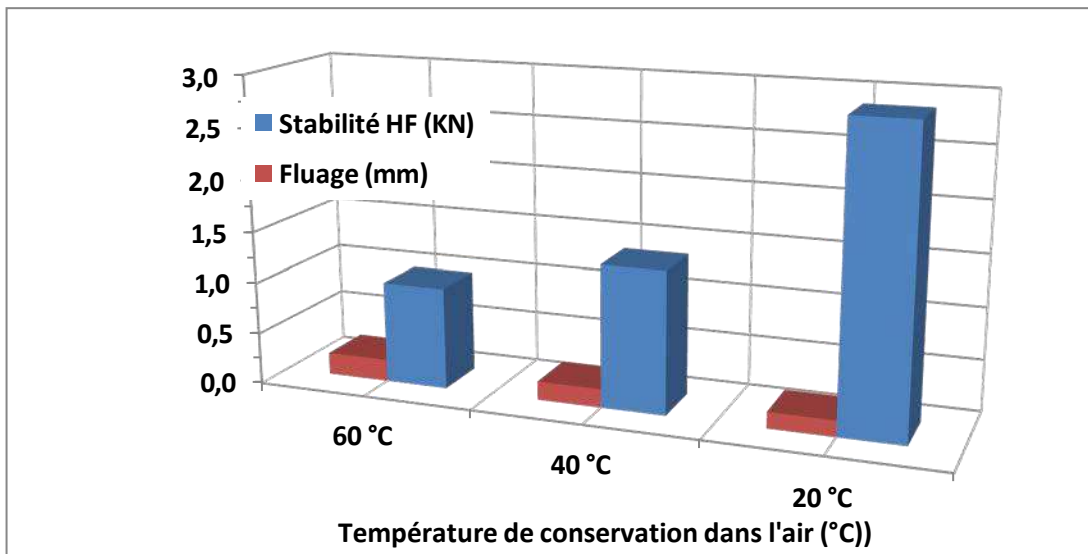


Figure IV.6 Influence de la température de conservation sur la stabilité et le fluage

D'après l'histogramme représenté en figure IV.6, la stabilité et le fluage sont inversement proportionnels ; c'est-à-dire que lorsque la stabilité augmente le fluage diminue.

La température joue un rôle important dans l'effet de fluage et de stabilité, la plus grande stabilité et la moindre déformation sont obtenues à 20°C.

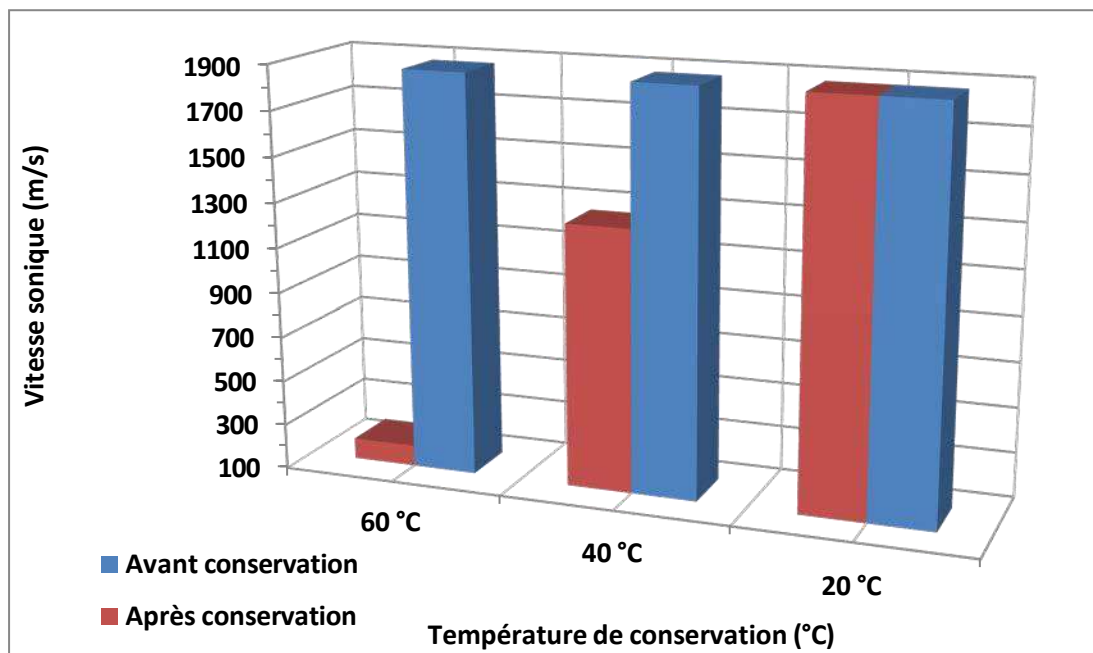


Figure IV.7 Variation des vitesses soniques avant et après conservation

La figure IV.7 représente les changements de vitesse avant et après le stockage des échantillons à différentes températures.

Nous notons qu'à chaque fois que la température augmente, la vitesse des ondes sonores est fixée avant conservation avec un gradient sensible et diminue après conservation, de sorte que sa vitesse est à la valeur la plus élevée à 20 degrés Celsius 1874,90 m/s. Puis la vitesse diminue à 60°C 192.22 m/s.

Il y a un effet sur le changement de température sur l'échantillon après conservation, car la chaleur ouvre un champ qui permet à l'air d'entrer dans l'échantillon, et ainsi le vide devient plus grand et bloque le chemin des ondes sonores, de sorte que la vitesse diminue.

La vitesse est affectée par le changement de température et la vitesse diminue sous la température la plus élevée.

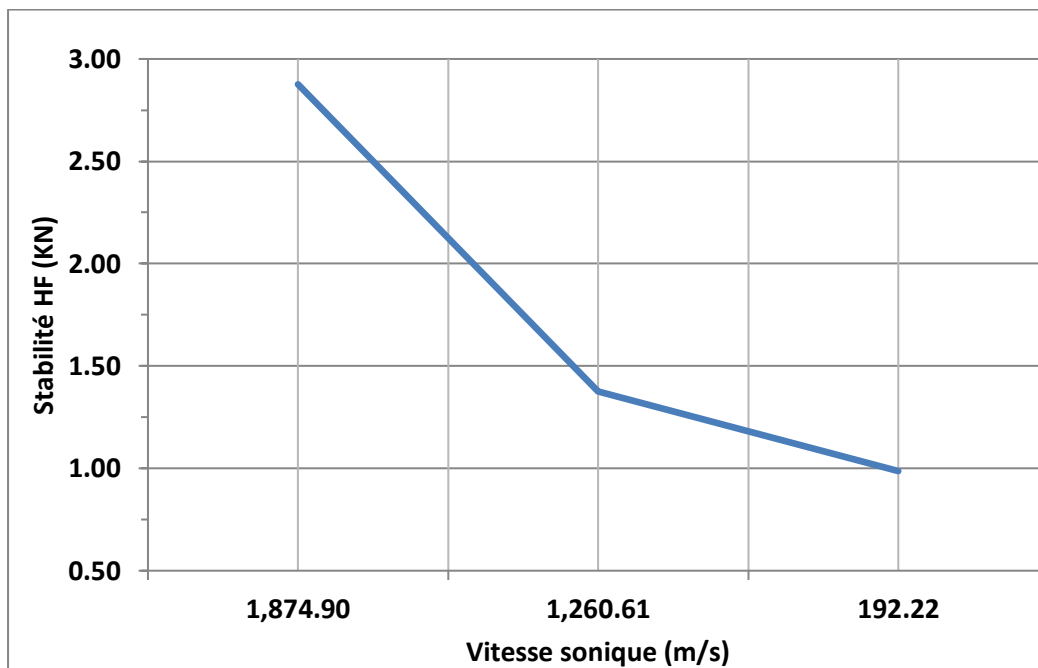


Figure IV.8 Variation de la stabilité en fonction de la vitesse sonique

La figure IV.8 représente les changements de stabilité en termes de vitesse, nous remarquons que la diminution de la stabilité correspond à une diminution de la vitesse de sorte que la plus grande valeur de stabilité est 2,88 KN à la vitesse la plus élevée qui est 1874,90 m/s.

La valeur la plus faible de stabilité qui est 0,99 KN est enregistrée à la vitesse la plus faible qui est 192,22 m/s.

La stabilité est affectée par le changement de vitesse proportionnellement, de sorte que la plus grande stabilité correspond à la plus grande vitesse, une indication de la force portante de l'échantillon, et que les vides dans cet échantillon sont peu nombreux, plus de pression, de résistance et de facilité de passage de signaux d'ondes à l'intérieur.

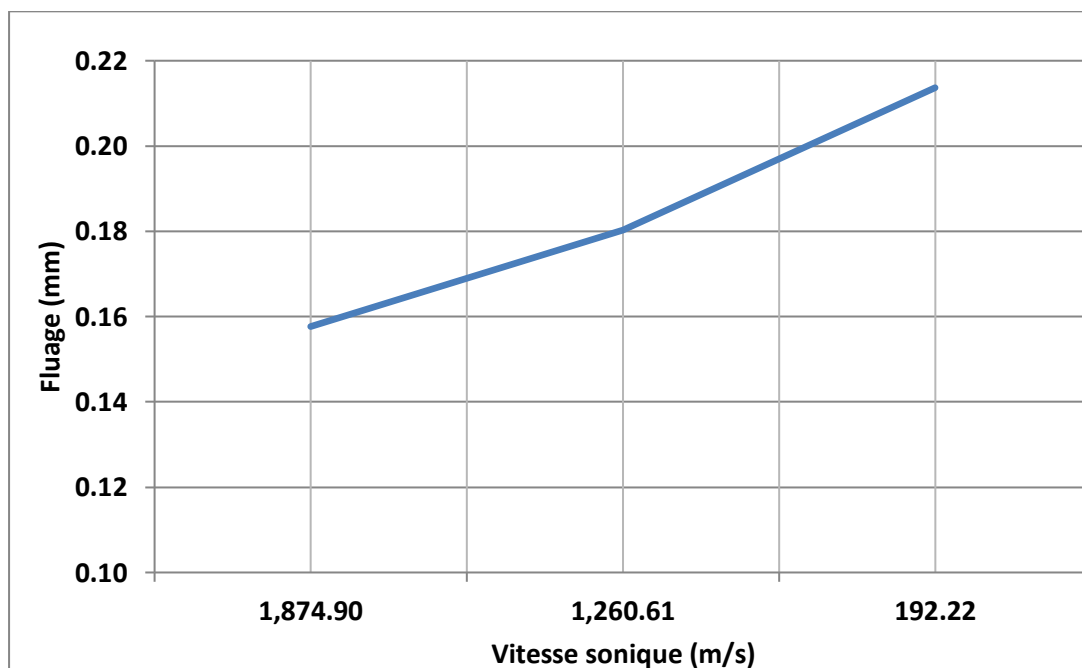


Figure IV.9 Variation du fluage en fonction de la vitesse sonique

D'après l'analyse de la figure IV.9 qui représente l'évolution du fluage en fonction de la vitesse, on remarque que le fluage et la vitesse sonique sont inversement proportionnels.

La valeur la plus basse du fluage qui 0,16mm correspond à la vitesse la plus élevée qui est 1874,90 m/s, et la plus grande valeur de fluage qui est 0,21mm coïncide avec la vitesse la plus faible qui est 192,22 m/s

Nous concluons qu'une plus grande vitesse indique moins de vide à l'intérieur de l'échantillon, et donc moins de fluage, suivi d'une moindre déformation et d'une plus grande résistance de l'échantillon.

IV .4. MESURE DE DENSITÉ PAR PARAFFINAGE

Le tableau IV.3 représente les résultats obtenus des densités réelles effectuées par la méthode de paraffinage conformément à la norme NFP 94064.

Tableau IV.3 Mesure de la densité réelle par paraffinage

Echantillon	01	02
POIDS HUMIDE	100,2	100,7
P.H +PARAFFIN	115,2	117,1
POIDS PARAFFIN	15,2	16,4
DENSITE PARAFFIN 0,9	0,9	0,9
P. MAT DANS Léau	45,7	45,6
VOLUME BREUT	69,5	71,5
VOLUME PARAFFINE	16,89	18,22
VOLUME NET	52,61	53,28
DENSITE HUMIDE	1,90	1,89

A travers les résultats obtenus consignés dans le tableau, on constate que les deux valeurs de densités mesurées sont légèrement semblables et ne dépassent pas la valeur de 2,7 stipulée par la norme NFP 94 064.

- Photos de Essai paraffine

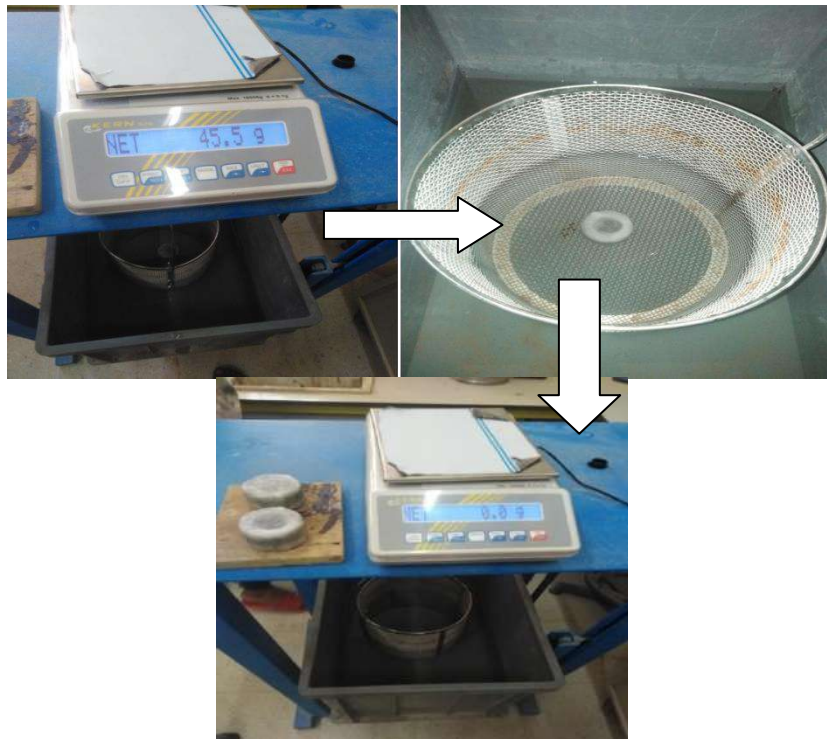


Figure IV.10 Images illustrant l'essai à la paraffine

4.1. Détermination de la densité apparente (NFP 98-250-6) :

L'éprouvette prévue pour cette mesure est pesée après sa confection et après immersion dans un bain de paraffine fondue (photo (V.2)). Elle est repesée à la balance hydrostatique, d'abord dans l'air puis dans l'eau, suspendue à un fil métallique. Ces différentes pesées permettent le calcul de la densité apparente. Soit **P0** le poids de l'éprouvette avant paraffinage, **P1** le poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'air, **P2** le poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'eau. **V b** : VOLUME BREUT (P1-P2) La différence correspond au volume de l'éprouvette enduite.

P p : poids paraffine.

Densité paraffine : C'est une valeur constante et égale à 0,9 .

V p:volume paraffine

$$V P = P p / 0,9$$

V n : volume net

$$V n = V b - V p$$

D H : densité humide

$$D H = P0 / V n$$

IV .5 CONCLUSION

Les résultats expérimentaux de ce chapitre nous ont permis de former des mélanges bitumineux avec la disponibilité des conditions et exigences environnementales.

L'étude et la formulation des bétons bitumineux ordinaires et fins et des mélanges fins en général, à l'aide de la méthode Hubbard Field, nous ont permis de découvrir le meilleur pourcentage optimal de bitume, qui est (5,75%), sur lequel on s'appuie pour la formation des mélanges. .

A travers cette étude, nous avons réalisé des tests et des analyses pour connaître la stabilité et le fluage d'échantillons bitumineux et les comparer et dans quelle mesure ils sont affectés à différentes températures et à la vitesse de leurs ondes sonores.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

L'enrobé étudié est un enrobé bitumineux à usage routier, et il est constitué d'un mélange de sable de Hassi al-Sayeh et de bitume ordinaire de type 40/50 réalisé avec la meilleure proportion de granulats et une dose de bitume bien étudiée en termes de stabilité et compacité.

Les performances mécaniques considérées ont été évaluées par des essais non destructifs, en l'occurrence l'essai aux ultrasons qui donne une indication globale de la qualité du mélange.

Cet essai, destiné au béton hydraulique, est effectué sur des éprouvettes dans le but de réduire les coûts et les dépenses des essais en laboratoire tels que les essais sur le terrain Hubbard. Par conséquent, l'objectif est de trouver les corrélations possibles entre le dispositif de pression de champ Hubbard et le dispositif à ondes acoustiques

Au terme de cette étude bibliographique et empirique, nous pouvons présenter les résultats partiels suivants :

Les résultats obtenus sont acceptables et montrent clairement une relation stabilité-vitesse. Des vitesses plus élevées correspondent à une résistance plus élevée.

- la température a un effet négatif sur les résultats de résistance et de fluage ;
Les meilleurs résultats pour la résistance et le fluage ont été obtenus à 20°C.

Avec l'appareil à pression qui fait perdre du temps avec une grande confusion dans les résultats et l'effort d'utilisation et des pertes économiques et financières dans les matériaux utilisés.

DEDUCTIONS

Grâce à nos expériences en laboratoire, nous sommes arrivés aux résultats suivants :

1. La température affecte négativement la stabilité et le fluage et la vitesse.
2. Les vitesses soniques diminuent à mesure que la température augmente.
3. Plus la résistance est élevée, plus la vitesse est élevée.
4. . Le fluage et la vitesse ultrasonique sont inversement proportionnels.
5. Les meilleurs résultats de résistance, déformation et de vitesse sont obtenus à la température de 20 °C.

Recommandations

A la fin de cette étude, on peut recommander ce qui suit :


1. Il est préférable d'utiliser ce type de béton dans les régions à climat tempéré d'environ 20°C.
2. L'ajout de sable grossier ou concassé donne des résultats meilleurs.
3. Il faut essayer d'utiliser des bitumes modifiés qui donnent plus de stabilité et moins de fluage.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

LIST DES RÉFÈRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] K. SAFIA (2013) valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable bitume En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Génie Civil.
- [2] N. KEBAILI, M. KEBAILI, M. DJOUHRI) 2018) Etude des propriétés d'un nouveau béton bitumineux à base de sable de dunes pour les routes du sud d'Algérie.
- [3] H. Hanane, KH.Nouzha (2017) Etude d'un béton bitumineux à base de sables de dune projet de fin d'étude.
- [4] HAFIDOU Zahra ; (2019) étude de l'influence de PEBD sur le module des bétons bitumineux à base SABLE DE DUNES Mémoire master. Université d'Ouargla.
- [5] T.Fairouze, S.Roumaïssa (2018) Etude et formulation des sables enrobés à base de sable de dune, Mémoire master. Université d'Ouargla.
- [6] G. JEUFFROY, R.SAUTEREY Couches de roulement, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [7].History of asphalt mix design in North America, Hubbard Field mix design,1920 Charles Hubbard et Frederick Field.
- [8].NLT-160/73, NF P98-251-3 : Août 1994.
- [9]. Normes NLT 160, ASTM D 1138, AASHTO T 169 .
- [10] M. Morsli, J.M.Bali A Fleureau, (2003) Particularités de la Technique Routière Saharienne, 3ème congrès algérien de la route.
- [11]. Détection of Dynamics Modulus and Crack Properties of Asphalt Pavement Using a Non-Destructive Ultrasonic Wave Method.
- [12]. Implémentation of an expérimental pavement for the study of non destructive testing techniques.
- [13]. Modélisation du Comportement d'un Sable Bitume à base de Sable de Dune.

LES ANNEXES



**ANNEXE -A-
ANALYSE DES
MATERIAUX
UTILISÉS**

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DUSUD
ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS
NF P 18-560
Septembre 1990

Structure: UNITEDE OUARGLA
D'INTIFICATION

Lieu de travail: SALL

N° Dossier interne: 015/2017

Date: 08/05/2022

Classe granulaire: Sable alluvionnaire

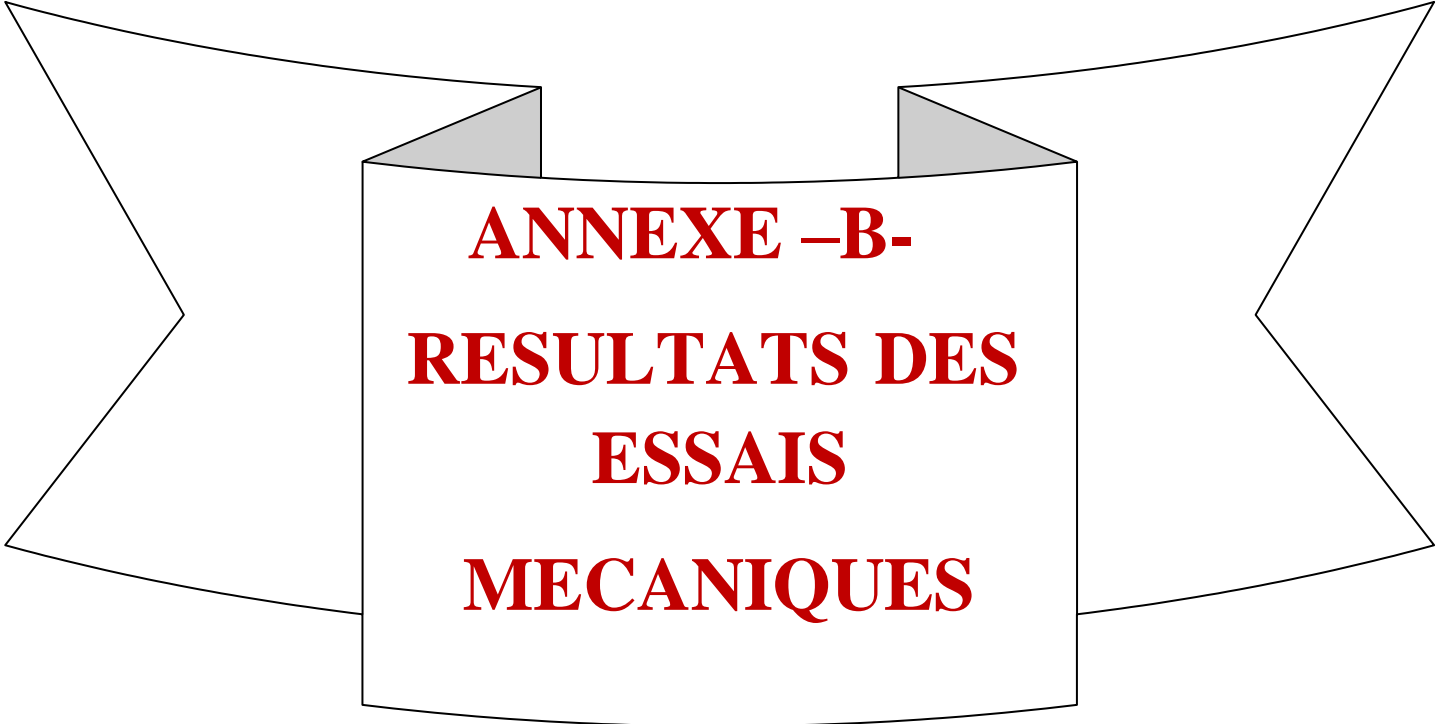
Opérateur: D.Ikram /K.Hana

Prise d'essai: 2Kg

Équipements utilisés: balance

N°D'inventaire : L21_23_15

TAMIS	Poids (g)	Refus cumulé	Pour (%)Refus cumulé	Observations
8				
6,3				
5	1,3	1,3	1998,70	99,94
4		1,3	1998,70	99,94
3,15	3	4,3	1995,70	99,79
2,5	4,6	8,9	1991,10	99,56
2	40	48,9	1951,10	97,56
1,25	145,3	194,2	1805,80	90,29
1	100	294,2	1705,80	85,29
0,8	60	354,2	1645,80	82,29
0,63	304,4	658,6	1341,40	67,07
0,5	400	1058,6	941,40	47,07
0,315	500	1558,6	441,40	22,07
0,2	100	1658,6	341,40	17,07
0,16	217,3	1875,9	124,10	6,21
0,08	93,9	1969,8	30,20	1,51
0	19,5	1989,3	10,70	0,54
	1989	/	/	/



**ANNEXE –B-
RESULTATS DES
ESSAIS
MECANIQUES**

LAPORATOIRE DES GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

FEUILLE D'ESSAI

MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE D'UNE

EPROUVETTE PAR PESEE HYDROSTATIQUE

NF 98-250-6

Structure : unité d'Ouargla

Lieu de travail : salle de biton

Date : 24 /05/2022

Echantillon : Hubbard Field

Opérateur : D.Ikram/K.Hana

COMPOSITION		(%)
Fraction	S HS	100
Liant	40/50	5,75

N° d'ordre	Désignation	Eprouvette 1	Eprouvette 2
1	Epaisseur (cm)	2,52	2,55
2	Mass de l'éprouvette (g)	100,2	100,7
3	Masse de l'éprouvette paraffinée (g)	115,2	117,1
4	Masse de paraffine (g)	15,2	16,4
5	Masse volumique de la paraffine (g/cm ³)	0,9	
6	Volume paraffiné (cm ³)	16,89	18,22
7	P.MAT.DANE L'EAU (g)	45,7	45,6
8	Volume brut (cm ³)	69,5	71,5
9	Volume net (cm ³)	52,61	53,28
10	Densité humide (g/cm ³)	1,90	1,89

REMARQUE : la densité des grains solides $\gamma_s = 2,7 \text{ g/cm}^3$.

BITUME 40/50 ORDINAIRE (5,28%)

Epr	Poids(g)	Haut (mm)	Vol (mm ³)	Y kg/cm ³	V1 (m/s)	MOY (m/s)	T(°C)	V2 (m/s)	MOY (m/s)	Stab (KN)	MOY (KN)	Fluage (mm)	MOY (mm)
1	119,20	30,98	62791,19	1,898			Air			2,294		0,174	
2	121,30	31,85	64554,54	1,879		2197,16	Air		2197,16	5,184	4,458	0,371	0,41
3	119,60	30,98	62791,19	1,905	2197,16		Air	2197,16		5,897		0,680	
4	120,90	31,48	63804,61	1,895		2088,27	40		5220,68	2,699	2,788	0,734	0,77
5	125,10	32,79	66459,76	1,882			40			2,876		0,797	
6	120,60	30,28	61372,41	1,965	2088,27		40	5220,68					
7	120,00	31,25	63338,44	1,895		888,18	60		978,41	4,596	2,990	0,644	0,65
8	120,90	31,37	63581,66	1,901			60			1,383		0,662	
9	119,40	30,82	62466,90	1,911	888,18		60	978,41					

BITUME 40/50 ORDINAIRE (5,51%)

Epr	Poids(g)	Haut (mm)	Vol (mm ³)	Y kg/cm ³	V1 (m/s)	MOY (m/s)	T(°C)	V2 (m/s)	MOY (m/s)	Stab (KN)	MOY (KN)	Fluage (mm)	MOY (mm)
10	119,60	30,20	61210,27	1,954			Air			2,294		0,153	
11	119,60	30,70	62223,68	1,922		2228,68	Air		2228,68	3,685	2,715	0,201	0,19
12	121,00	30,31	61433,22	1,970	2228,68		Air	2228,68		2,167		0,216	
13	120,60	31,40	63642,46	1,895		2111,19	40		2156,42	1,282	1,902	0,075	0,10
14	121,80	31,54	63926,22	1,905			40			2,522		0,129	
15	118,20	30,19	61190,00	1,932	2111,19		40	2156,42					
16	120,40	31,12	63074,95	1,909		1673,80	60		1809,25	0,953	0,713	0,321	0,48
17	120,20	31,31	63460,05	1,894			60			0,472		0,641	
18	120,20	31,30	63439,78	1,895	1673,80		60	1809,25					

BITUME 40/50 ORDINAIRE (5,74%)

Epr	Poids(g)	Haut (mm)	Vol (mm ³)	γ kg/cm ³	V1 (m/s)	MOY (m/s)	T(°C)	V2 (m/s)	MOY (m/s)	Stab (KN)	MOY (KN)	Fluage (mm)	MOY (mm)
19	121,60	31,32	63480,32	1,916		2213,77	Air		2213,77	2,117	3,162667	0,162	0,20
20	121,00	31,50	63845,15	1,895			Air			4,672		0,237	
21	120,10	30,55	61919,66	1,940	2213,77		Air	2213,77		2,699		0,198	
22	121,30	31,00	62831,73	1,931		2189,78	40		2205,88	3,255	4,1155	0,312	0,26
23	121,40	30,39	61595,36	1,971			40			4,976		0,205	
24	118,00	30,00	60804,90	1,941	2189,78		40	2205,88					
25	121,20	31,56	63966,75	1,895		1710,32	60		1729,12	1,080	1,257	0,158	0,13
26	120,00	30,86	62547,97	1,919			60			1,434		0,105	
27	120,40	31,47	63784,34	1,888	1710,32		60	1729,12					

BITUME 40/50 ORDINAIRE (5,97%)

Epr	Poids (g)	Haut (mm)	Vol (mm ³)	γ kg/cm ³	V1 (m/s)	MOY (m/s)	T (°C)	V2 (m/s)	MOY (m/s)	Stab (KN)	MOY (KN)	Fluage (mm)	MOY (mm)
28	120,30	30,94	62710,12	1,918		2506,40	Air		2506,40	2,117	3,002	0,295	0,25
29	120,90	31,08	62993,88	1,919			Air			4,014		0,285	
30	119,60	31,33	63500,58	1,883	2506,40		Air	2506,40		2,876		0,177	
31	120,80	31,70	64250,51	1,880		1931,52	40		1885,80	2,724	2,724	0,178	0,18
32	120,90	31,39	63622,19	1,900			40			2,724		0,178	
33	119,60	31,87	64595,07	1,852	1931,52		40	1885,80					
34	120,90	31,56	63966,75	1,890		1662,11	60		1735,16	0,574	0,486	0,125	0,11
35	119,80	31,85	64554,54	1,856			60			0,397		0,085	
36	120,40	31,58	64007,29	1,881	1662,11		60	1735,16					

BITUME 40/50 ORDINAIRE (5,75%)

Epr	Poids (g)	Haut (mm)	Volume (mm ³)	γ (kg/cm ²)	V1 (m/s)	T (°C)	V2 (m/s)	Stabilité (KN)	Fluage (mm)	T1 (μs)	T2 (μs)
01	100,90	25,89	52474,63	1,92	1810,49	20	1810,49	3,88	0,15	14,30	14,30
02	100,40	25,06	50792,36	1,98	1790,00	20	1790,00	2,47	0,19	14,00	14,00
03	101,60	25,91	52515,17	1,93	2024,22	20	2024,22	2,27	0,12	12,80	12,80
04	100,80	26,44	53589,39	1,88	1289,76	40	1259,05	1,48	0,22	20,50	21,00
05	100,50	26,03	52758,38	1,90	1422,40	40	1188,58	1,48	0,18	18,30	21,90
06	100,70	26,15	53001,60	1,90	1494,29	40	1334,18	1,15	0,14	17,50	19,60
07	99,40	26,78	54278,51	1,83	407,61	60	226,95	1,05	0,22	65,70	118,00
08	99,80	26,53	53771,80	1,86	395,97	60	250,52	1,43	0,22	67,00	105,90
09	100,00	26,98	54683,87	1,83	375,24	60	99,19	0,47	0,19	71,90	272,00

LAPORATOIRE DES GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

FEUILLE D'ESSAI

Hubbard Field sur mélange hydrocarbonés norme NLT

AASMTOT 196 A ET ULTRASONIQUE et essaie et conservation

Structure : unité d'Ouargla

Date : 24 /05/2022

Lieu de travail : labo de biton

Opérateur : D.Ikram/K.Hana

Echantillon : Hubbard Field et ultrasonique

Tableau pourcentage de dosage bitume et poids bitume et poids sable

Bitume (%)	5,28	5,51	5,74	5,97
P bitume (g)	237,60	247,95	258,30	268,65
Poids SAB-ALL (g)	4262,40	4252,05	4241,70	4231,35

Poids éprouvette.	150g
Nombre éprouvette.	30
Poids total.	4500g

Tableau Teneurs en liant pour les différents mélanges

	Mélange A	Mélange B	Mélange C	Mélange D
K (%)	3,45	3,60	3,75	3,90
Teneur en liant (%)	5.28	5.51	5.74	5.97

Hubbard Field



L'appareil de Hubbard Field

Étuve

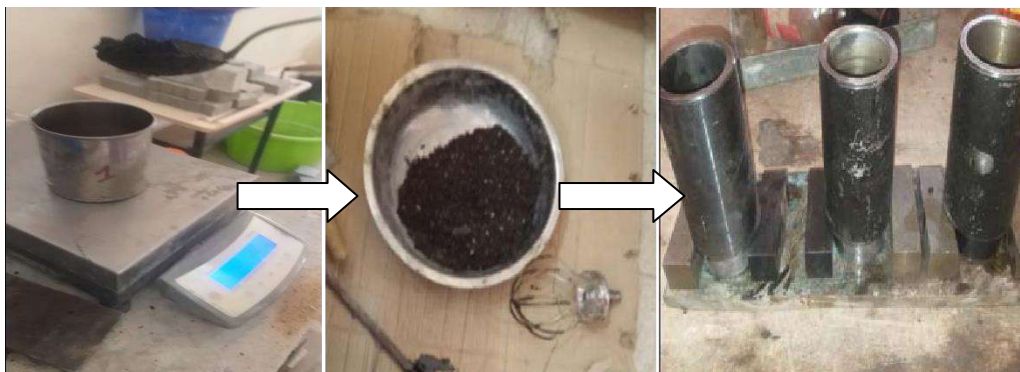
Le pot

Opération de malaxage

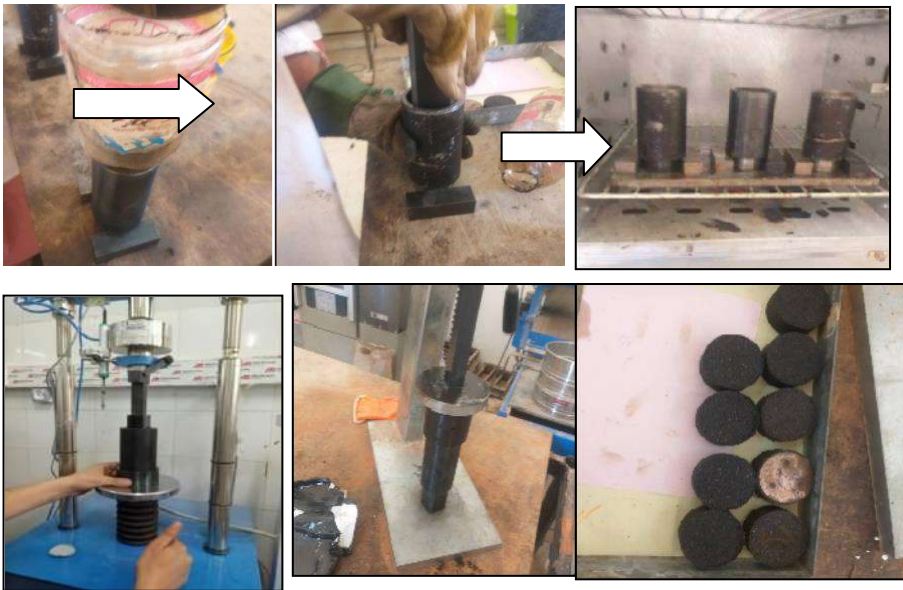


Agrégats et bitume dans l'étuve de chauffage & Opération de malaxage

Enrobent et moules



Préparation de moulage



Démoulage

Opération de démoulage

Ultrasonique



Eprouvettes dans le four et ultrasonique



Opération d'écrasement des échantillons HF



ANNEXE - C-

LA NORME

HUBBARD FIELD

Essai Hubbard Field

NLT-160/73
NF P98-251-3 Août 1994

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Cette norme ne s'applique qu'aux mélanges de bitume composés d'agrégats fins et d'un matériau bitumineux. La méthode est indiquée pour l'essai des mélanges fabriqués et étalés à chaud dans lesquels un liant bitumineux est utilisé.

La stabilité est définie dans cet essai par la résistance maximale développée par l'éprouvette à 60 °C, lorsqu'elle est testée dans des conditions d'extrusion.

2. APPAREIL ET MATERIEL NECESSAIRE

Moules (Fig.1) : Les moules cylindriques pour la fabrication des éprouvettes doivent être en acier trempé spécialement, d'un diamètre intérieur de $50.8 \pm 0,03$ mm et d'une hauteur de 120,7 mm. Il est recommandé d'avoir au moins trois de ces moules.

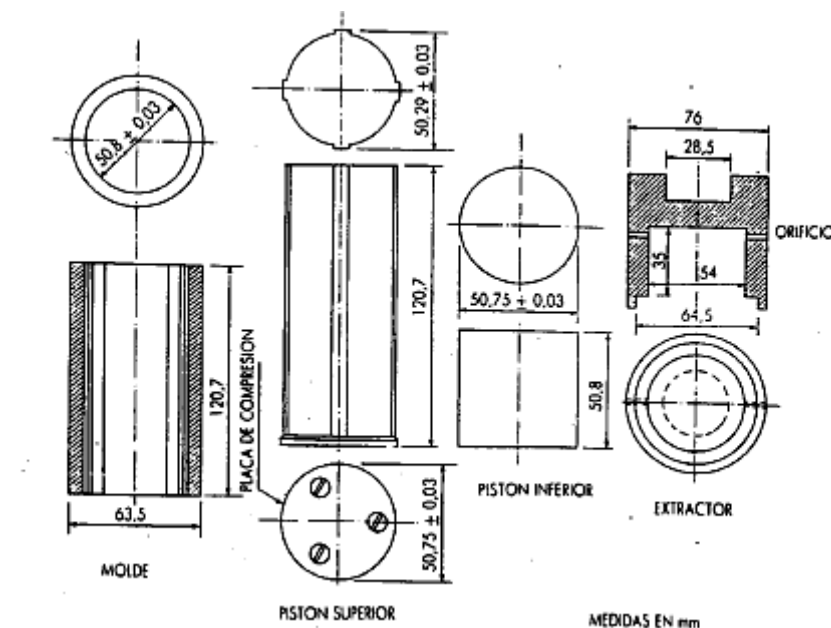
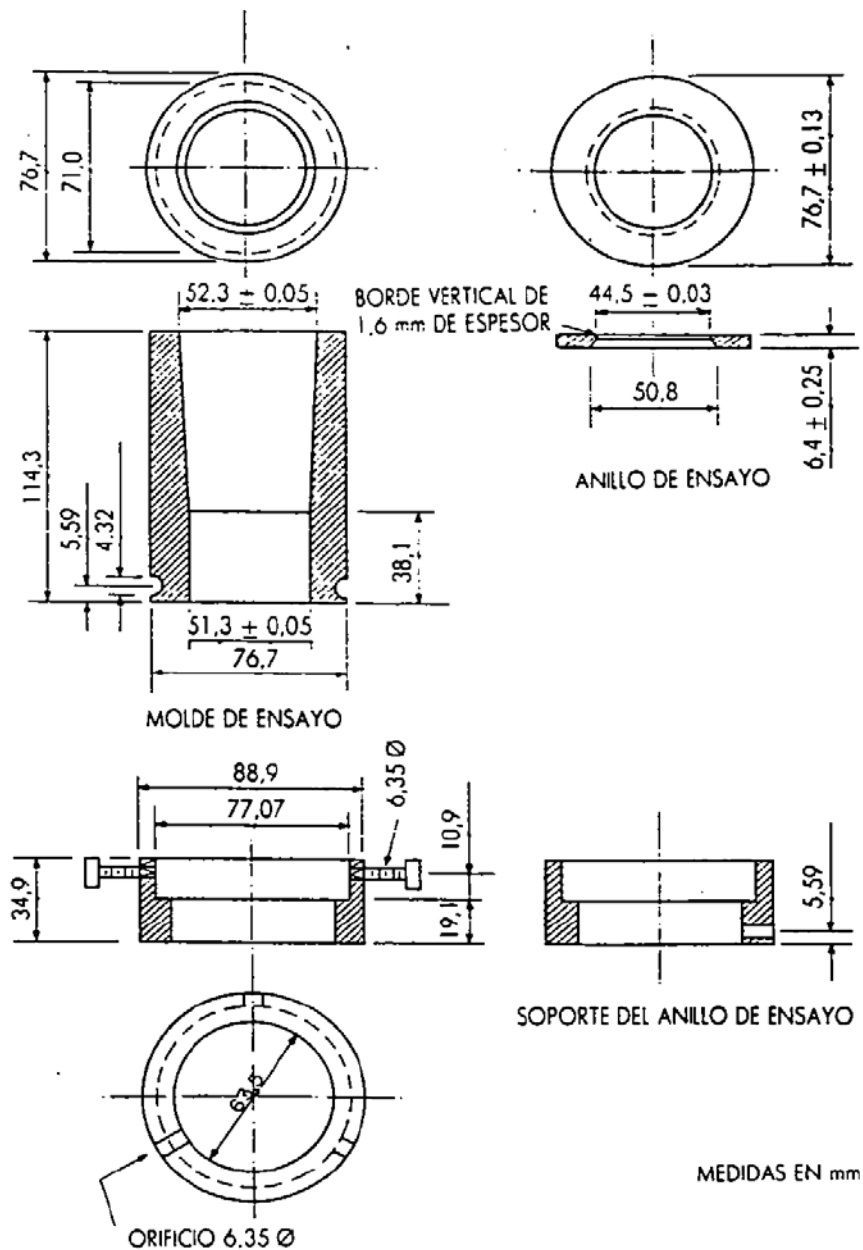


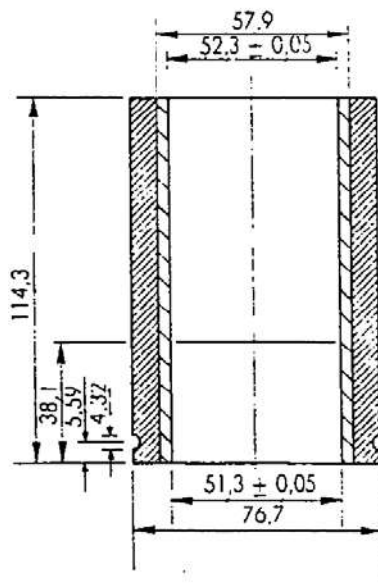
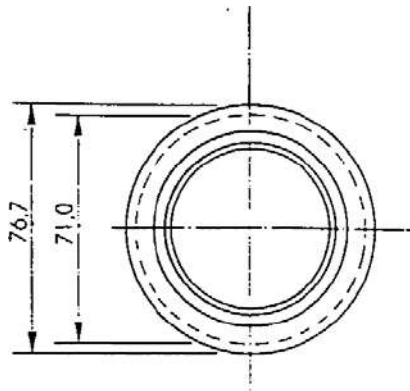
Fig. 01 : Moule, Piston et Extracteur

Pistons inférieurs : Pistons en acier de 50.8 mm de long couvercle usiné pour fournir un jeu de 0,05 mm entre le piston et le moule et avec un diamètre nominal de $50,75 \pm 0,03$ mm. Il est recommandé d'avoir au moins trois de ces pistons.

Support pour les moules : Deux barres en acier de 75 mm de section carrée et 645 mm² en section.

Pistons supérieurs : Pistons en acier de 120,7mm de longueur, terminés par une plaque d'acier cylindrique dans sa partie inférieure pour effectuer la compression, vissée sur le corps du piston. Cette plaque sera usinée pour fournir un jeu de 0,05mm entre le piston et le moule, son diamètre sera de $50,75 \pm 0,03$ mm et son épaisseur d'environ 3,2 mm approximativement. Le corps du piston aura au moins quatre surfaces courbes de $50,29 \pm 0,03$ mm de diamètre. Il est recommandé d'avoir au moins trois de ces pistons.





MEDIDAS EN mm

Extracteur d'échantillons (figure 1) : Construit en acier et de dimensions et forme indiquées, utilisé pour retirer les échantillons du moule.

Moule et anneau d'essai

Type 1 (Fig. 2) : Un moule d'essai cylindrique de 51,3mm de diamètre intérieur 0,05mm jusqu'à une hauteur de 38,1mm de sa base, à partir de laquelle il augmente progressivement son diamètre interne jusqu'à un maximum de 52,3 0, 05mm à son extrémité supérieure. Le diamètre extérieur sera d'environ 76,7mm. Le moule aura une hauteur de 114,3mm et sera fabriqué en acier à outils spécial. Le moule d'essai doit être équipé d'une bague d'essai en acier trempé de 76,7+ 0,13mm de diamètre extérieur et de 6,4+0,25mm d'épaisseur, avec un trou circulaire de 44.5+0.03mm de diamètre d'un côté. Cet orifice aura un bord vertical de 1.6mm d'épaisseur.

Inertes jusqu'à une sonde d'environ 0,8mm du côté opposé. Il y aura également un support pour maintenir la bague d'essai parfaitement ajustée et concentrique contre le fond du moule, ainsi que pour servir de base à celle-ci.

Autre type 2 (Fig. 3) : Ce moule d'essai aura les mêmes dimensions que celui du type 1 et sera également revêtu de l'acier spécial pour réduire l'usure.

Presse mécanique de 50 KN : (5000 kg de capacité munie d'un anneau dynamométrique et capable d'appliquer la charge à une vitesse constante de 61,0mm par minute.

Cela ne dépasse pas 163 °C. Lorsque la plaque chauffante est utilisée, une protection doit être interposée entre la plaque et les godets et les moules contenant le mélange. Cette protection peut être facilement réalisée en pliant les bords d'une tôle afin qu'elle laisse un espace d'air entre les deux surfaces.

Dispositifs de mélange : Des casseroles en aluminium d'environ un litre de capacité et une spatule d'environ 25mm de large avec des extrémités arrondies peuvent être utilisées. Il est également possible d'utiliser un mélangeur mécanique couramment utilisé pour ce type de mélange.

Bain-marie : à fond métallique résistant et contrôle thermostatique pour l'essai des éprouvettes, capable de maintenir immergé l'ensemble du moule, de l'anneau et de l'éprouvette pendant l'essai. La température du bain doit être de 60±1 °C.

Balance avec une capacité minimale de 500 g et une sensibilité de 0,1 g.

Chronomètre.

Trois thermomètres de 200 °C.

Matériel général : Plateaux, casseroles, bordures incurvées, ...etc.

3 MODE OPERATOIRE

Préparation des mélanges

Une quantité suffisante d'agrégats secs est préparée pour remplir trois éprouvettes. Ceux-ci sont pesés avec une approximation de 0,1 g chez les rats préalablement tarés.

Les agrégats sont chauffés de température donnée est absolument nécessaire requis sans dépasser 163 °C et mélangés soigneusement.

Placer le seau avec le mélange d'agrégats dans la balance et ajouter la quantité nécessaire de liant, à une température ne dépassant pas 163 ° C, avec une approximation de 0,1g. Les matériaux sont soigneusement mélangés, défaisant tous les morceaux qui peuvent former avec la spatule.

La surface de tous les agrégats devrait être complètement couverte et le mélange devrait avoir une couleur uniforme.

Taille et compactage des éprouvettes

Les éprouvettes du mélange compacté doivent avoir un diamètre de 50,8mm et une hauteur de 25,4mm.

Avant la préparation du mélange, les moules et les pistons sont chauffés à la température de compactage désirée

Dans chacun des trois moules, à l'intérieur desquels les moules correspondants ont été introduits dans les pistons inférieurs, placer la quantité suffisante du mélange fraîchement préparé ou réchauffé pour obtenir la taille appropriée du tube compacté

Les moules contenant le mélange et avec le piston inférieur en place sont placés dans un four, réglé à la température désirée compactage donne, pendant plus de dix minutes ase temps pour configurer ladite température est atteinte, la qui est mesurée avec des thermomètres introduits dans le mélange. À côté des moules sont placés sur le poêle. Les pistons supérieurs afin qu'ils atteignent également la même température. La température de moulage variera en fonction du type de liant utilisé, mais ne sera en aucun cas supérieure à 150 °C. Une fois la température atteinte, les pistons supérieurs sont placés.

Après les avoir retirés du réchauffeur, les éprouvettes doivent être compactées sans perte de temps de la manière suivante: les moules sont placés sur les barres carrés utilisés en tant que support, de sorte que le fond du moule est maintenue à 25,4mm au-dessus de la surface de la plaque de la presse, en étant, par conséquent, , le piston inférieur introduit seulement un autre 25,4 mm à l'intérieur du moule. Une charge initiale de 2.225 KN (227 kgf pour régler le mélange dans le moule est appliqué. la charge initiale est enlevée et enlevée les barres support.

Ensuite, les tubes à essai bêtas sont compactés par l'application d'une charge totale de 41,922 KN, (4275 kg), il charge c'est maintenu pendant deux minutes, puis on élimine

Les échantillons sont retirés des moules, pour lesquels le piston inférieur est retiré et le moule est placé dans l'extracteur: une légère charge est appliquée avec la presse sur le piston supérieur, avec lequel l'échantillon tombera à la partie élargie de l'extracteur. Il est soigneusement ramassé, marqué pour l'identification et stocké jusqu'à ce qu'il soit testé. Il doit prendre le moins de temps possible entre le compactage de chaque échantillon. Les échantillons sont laissés à température ambiante pendant au moins 12h avant l'essai.

Préparation des spécimens prélevés sur la chaussée

Les spécimens extraits avec une sonde des chaussées terminées doivent avoir un diamètre de $50,8 \pm 0,13\text{mm}$ et une hauteur de $25,4 \text{ mm} \pm 1.3\text{mm}$.

Détermination de la masse volumique

Cet essai peut être effectué dès que les éprouvettes ont été refroidies à la température ambiante et l'une quelconque des procédures décrites dans la norme NLT- 168 sera appliquée en fonction de leurs caractéristiques de surface

Détermination de la stabilité

Les éprouvettes ont été soumises au maintien de la température d'essai pendant une heure comme un bain d'air minimum régulée à $60 \text{ }^\circ\text{C}$ Le moule et le piston d'essai seront également conservés à la même température et en même temps.

Le cycle d'essai est monté avec son bord biseauté vers le bas, sur le support, puis en plaçant sur le moule de test et le fixer au moyen de vis. L'ensemble est immergé dans le bain-marie, l'éprouvette est introduite dans le moule et le piston est placé sur le dessus. La température du bain sera de $60 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. L'ensemble est placé sur la presse et la charge est appliquée à une vitesse uniforme de $61,0\text{mm}$ par minute. Au cours de la charge est appliquée, elle augmente rapidement, en surmontant la résistance opposée à l'éprouvette, jusqu'à atteindre un maximum qui se produit juste avant la rupture de l'éprouvette. Si le test est poursuivi, la valeur de la résistance fluctue en dessous de ce maximum.

La charge maximale en Newtons enregistrée sera la valeur de la résistance plastique de l'échantillon dans cet essai.

4 RÉSULTATS

Pour chaque échantillon testé, les informations suivantes seront incluses: Type et proportion de liant.

Densité relative Stabilité en newtons.

En plus des données incluses dans la section précédente, il est pratique de connaître l'origine de l'échantillon (laboratoire, travail ou témoin) et si l'échantillon est original ou a été réchauffé pour le test.

5 DÉTERMINATION DE LA TENEUR OPTIMALE DU LIANT

Lorsque cette norme est utilisée pour la détermination de la teneur optimale en liant d'un mélange d'agrégats de composition et de granulométrie des finis, on prépare des séries d'éprouvettes qui diffèrent en quantités croissantes et fixées. de sorte qu'il existe deux séries avec des teneurs en liant plus élevées et deux de moins que la valeur optimale

Tous les échantillons sont fabriqués et testés conformément à cette norme, les valeurs moyennes de stabilité, de densité relative et de teneur en vide sont déterminées pour chaque série, les graphiques suivants étant dessinés

Stabilité	% du liant
Densité relative	% du liant
% de trous dans le mélange	% du liant
% trous remplis	% de liant
% trous dans les agrégats	% de liant

Avec ces courbes, et conformément aux critères basés sur les spécifications correspondantes, la valeur de la teneur optimale en liant est déterminée.

ASTM D 1138-52 (1968) « Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Hubbard-Field Apparatus ».

The Asphalt Institute, Manual Series, MS-2 (1969)