

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES DEPARTEMENT
DE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

MEMOIRE DE MASTER

Filière : Travaux publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Thème

**Influence de la température de l'eau de conservation sur
les performances mécaniques d'un béton bitumineux fin
à base d'un sable local**

Présenté par :

- **BOUZIANE Haythème**
- **BOUAB Charaf eddine**

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

HACINI Slimane
BAZZINE Rabia
KEBAILI Nabil

M.A.A. UKMO
Magister DTP Ouargla
M.C.A. UKMO

Président
Examineur
Encadreur

Promotion 2022

Remerciements

La première des choses à dire est notre louange à Dieu, notre Créateur, qui nous a permis d'achever ce travail par sa miséricorde et sa grâce.

Comme on remercie notre encadreur Dr Nabil KEBAILI, qui nous a soutenus par ses conseils et ses orientations.

On remercie également Monsieur Ali KCHIRED, Chef de laboratoire de Génie civil qui nous a considérablement aidés dans les manipulations, ainsi que tous ceux qui nous ont soutenus.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenus et à tous qui ont également participé à la réalisation de ce mémoire et tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Dédicaces

Ce modeste travail est dédié à :

- ✧ MA CHÈRE MÈRE ET À MON CHER PÈRE,
- ✧ TOUS MES PROCHES DE LA FAMILLE BOUAB,
- ✧ SURTOUT MES SŒURS ET MES FRÈRES, CHACUN EN SON NOM
- ✧ MON COLLÈGUE ET LA FAMILLE BOUZIANE,
- ✧ TOUS MES CHERS AMIS ET COLLÈGUES DE L'UNIVERSITÉ DE OUARGLA,
- ✧ À TOUS CEUX QUI M'ONT ENSEIGNÉ TOUT AU LONG DE MA VIE SCOLAIRE



.BOUAB CHARAF EDDINE

Dédicaces

LOUANGE À DIEU, ET QUE LA PRIÈRE ET LA PAIX SOIENT SUR
NOTRE MAÎTRE MOHAMMED.

JE DÉDIE CE TRAVAIL :

À MON PARADIS ET LE SECRET DE MON BONHEUR, SHEIKH EL-
ARABI MAHDJAR ET SHEIKH BELKHEIR DJAZZAR.

COMME JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À MON CHER PÈRE,
MES SŒURS, MES AMIS ET COLLÈGUES, MA FAMILLE ET À MON
AMI ET COLLÈGUE "BOUAB CHARAF-EDDINE".

SANS OUBLIER TOUS LES ENSEIGNANTS DE LA SPÉCIALITÉ
« VOIES ET OUVRAGES D'ART » AINSI QUE LES ÉTUDIANTS DE LA
PROMOTION 2022.

EN DERNIER LIEU, JE DEMANDE À DIEU DE RENDRE CE MÉMOIRE
UTILE ET PRATIQUE POUR TOUS LES ÉTUDIANTS QUI
TRAVAILLENT POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME.



BOUZIANE Haytheme

المخلص:

تعاني معظم المناطق الجنوبية في الجزائر من نقص حاد في مادة الرمل ذات الخصائص الجيدة مما انعكس سلبا على تكلفة مشاريع الطرق وديمومتها. تمثل نسبة المواد الحصوية حوالي 90% من كتلة الخرسانة الإسفلتية مما يستوجب إعطائها أهمية بالغة في صياغة الخليط. وتهدف الدراسة الحالية إلى إنشاء تركيبة لخرسانة طبقة السير باستخدام الرمل المحلي مع زفت 50/40، من أجل الحصول على مركب جديد (الزفت الرملي). لتحقيق هذا الهدف، تم تصميم العديد من الخلطات الخرسانية ذات تركيبات مختلفة لتحديد التركيبة المثلى التي توافق المعايير المعمول بها. كما اعتمدنا خلال هذه الدراسة على تجربة الثبات (Hubbard Field) للخلطات الزفتية الدقيقة بالموازاة مع قياس سرعات الأمواج الصوتية باستخدام جهاز (Ultrasonique) الذي يستخدم في مجال الخرسانة الاسمنتية. واختتمت النتائج بمجموعة من التوصيات التي تتيح لنا تحقيق أفضل النتائج مستقبلا.

الكلمات المفتاحية: رمل حاسي السايح، الزفت الرملي، ثبات هوبار فيلد، أمواج فوق صوتية.

Résumé :

La plupart des régions du sud de l'Algérie souffrent d'une grave pénurie de sables de bonne qualité, ce qui se répercute négativement sur le coût et la durabilité des projets routiers. Les agrégats constituent environ 90% de la masse du béton bitumineux ce qui nécessite de lui accorder une importance primordiale dans l'étude de la formulation.

La présente étude vise la conception d'une composition d'enrobé bitumineux pour la couche de roulement moyennant un sable local et un bitume 40/50 pour atteindre un nouveau composite « Sable-bitume ».

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

Nous nous sommes également appuyés, lors de ce sujet, sur l'essai de stabilité (Hubbard Field) et l'essai ultrasonique utilisé pour les bétons hydrauliques.

Les résultats se sont conclus par un certain nombre de recommandations qui nous permettent d'atteindre des résultats meilleurs.

Mots-clés : sable Hassi sayeh, sable bitume, stabilité Hubbard Field, essai ultrasonique

Abstract:

Most of the southern regions in Algeria suffer from a severe shortage of sand with good properties, which has negatively affected the cost and sustainability of road projects. The proportion of gravel material represents about 90% of the mass of asphalt concrete, which has to be given great importance in the formulation of the mixture.

The current study aims to create a composition of the concrete of the walking layer using local sand with 40/50 pitch, in order to obtain a new compound (bituminous sand).

To achieve this goal, several concrete mixes with different compositions are designed to select the optimal composition that meets applicable standards.

We also relied, during this study, on the stability experiment (Hubbard Field) for fine asphalted mixtures in parallel with measuring the velocities of sound waves using the (Ultrasonique) device that is used in the field of cement concrete.

The results concluded with a set of recommendations that allow us to achieve the best results in the future.

Keywords: Hassi El Sayeh sand, asphalt sand, Hubbard Field stability, ultrasonic waves.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX FINS	3
I .1 INTRODUCTION.....	4
I .2 GENERALITES SUR LES CHAUSSEES ROUTIERES	4
I .3 LES BETONS BITUMINEUX.....	5
I .3.1 Les types de béton bitumineux fins.....	6
I .4 SABLES ENTRANT DANS LE DOMAINE ROUTIER	7
I .4.1 Les sables dunaires.....	7
I .4.2 Propriétés des sables de dunes	7
I .5. BETON BITUMINEUX DE SABLE EN ROUTE SAHARIENNE	8
I .5.1 Formulation des enrobés bitumineux fins	9
I .6 TECHNIQUE ROUTIERE SAHARIENNE.....	9
I .6.1 Définition de la technique routière saharienne	9
I .6.2 Les principales idées de la TRS	9
I .7. ETAT DE L'ART SUR L'UTILISATION DES ENROBES BITUMINEUX FINS	10
I .8 CONCLUSION	12
Chapitre II : ESSAI HUBBARD FIELD ET ESSAI ULTRASONIQUE	13
II.1 A- ESSAI DE STABILITE HUBBARD FIELD	14
II .1.1 INTRODUCTION ET APERÇU HISTORIQUE.....	14
II .1.2 DEFINITION ET BUT DE L'ESSAI HUBBARD FIELD	14
II .1.3 PRINCIPE DE L'ESSAI HUBBARD FIELD.....	15
II .1.4 APPAREILLAGE & COMPOSANTS	15
II.1.5 ETAPES DE REALISATION DE L'ESSAI	16
II.1.6 PREPARATION ET DURCISSEMENT DES EPROUVETTES D'ESSAI.....	16
II .1.7 DETERMINATION DE LA STABILITE.....	17
II.1.8 RAPPORTS	17
II.1.8.1 Définitions, symboles, abréviations	17
II.1.8.2 Préparation des éprouvettes.....	18
II.1.8.3 Détermination préalable de la masse des éprouvettes.....	19
II.1.8.4 Compactage des éprouvettes.....	19

II.1.9 MODE OPERATOIRE	19
II.2 B- ESSAIS ULTRASONIQUES.....	21
II.2.1 Définition.....	21
II.2.2 Étalonnage de l'appareil.....	21
II.2.3 Historique	21
II.2.4 But et principe d'utilisation	22
II.2.5 Principales normes d'application	22
II.2.6 Modes opératoires.....	22
II.2.6.1 Travaux préparatoires.....	22
II.2.6.2 Points de mesures	22
II.2.7 Manières de mesure	23
II.2.7.1 Mesure en transparence (directe)	23
II.2.7.2. Mesures en surface (indirecte)	23
II.3.7.3 Mesures semi directe	24
II.2.8 Avantage.....	24
II.2.9 Inconvénients.....	24
II.3 CONCLUSION	25
Chapitre III : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES	27
III.1 INTRODUCTION.....	28
III.2 MATERIAUX EXPERIMENTES.....	28
III.2.1 Bitumes 40/50	28
III.2.2 Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF EN 1426).....	28
III.2.3 Point de ramollissement bille et anneau (NF EN 1427).....	29
III.3 PARAMETRES INFLUENÇANT LE CHOIX D'UNE FORMULATION.....	29
III.4 LE SABLE	30
III.5 GRANULATS.....	30
III.6 DETERMINATION DE LA SURFACE SPECIFIQUE	31
III.7 DETERMINATION DE LA TENEUR EN BITUME.....	32
CHAPITRE IV : ESSAIS REALISÉS ET DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX.....	33
IV.1 INTRODUCTION	34
IV.2. ETUDE DE PERFORMANCE.....	34
IV.2.1. Essai Hubbard Field.....	34
IV.2.2. Confection des éprouvettes	34
IV.2.3 Détermination la masse (M) des eprovettes de chaque mélange :.....	35

IV.2.4. Moulage	36
VI.2.5.Démoulage:	36
VI 2.6.Écrasement	37
VI .3 DETERMINATION DE LA DENSITE APPARENTE (NFP 94-064) :	37
VI .4 CONCLUSION :	38
CHAPITRE V : ESSAIS REALISES ET INTERPRETATION	39
V .1 INTRODUCTION	40
V .2 ETUDE DE FORMULATION	40
V .3 SYNTHESE DES RESULTAS HUBBARD FIELD	41
V .4 RESULTATS OBTENUS	41
V .5 MESURE DE DENSITE PAR PARAFFINAGE	46
CONCLUSION GENERALE	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48
LES ANNEXES	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I .1) Caractéristiques des BB courants	6
Tableau (I .2) Quelques études réalisés sur les enrobés bitumineux fins	11
Tableau (III.1) Caractéristiques dU bitume utilisé.....	29
Tableau (III.2) Pourcentages des tamisât des sable HA.....	30
Tableau (III.3) Teneurs en liant pour différentes valeurs du module de richesse.....	32
Tableau (V.1) Résultats obtenus avant et après conservation.....	42
Tableau (V. 2) Mesure de la densité réelle par parafinage	46

LISTE DES FIGURES

Figure (I .1) Constitution d'une structure de chaussée type	5
Figure (I .2) Composition de béton bitumineux	5
Figure (I .3) Sable de dunes	7
Figure (II .1) Presse et équipements de l'essai Hubbard Field.....	16
Figure (II .2) Modified Hubbard Field.....	20
Figure (II .3) Typical Plotsin modified Hubbard_Field method of bitummous mix design	20
Figure (II .4) Indique la méthode de mesure directe.....	23
Figure (II .5) Indique la méthode de mesure indirecte	23
Figure (II .6) Indique la méthode de Mesures semi directe	24
Figure (III. 1) Pénétrromètre à aiguille.....	28
Figure (III.2) Mesure de la température de ramollissement du bitume	29
Figure (III. 3) Bitume pur 40/50.....	29
Figure (III.4) Courbes granulométriques du sable HA et fuseau de référence	31
Figure (V.1) Variation de la fluage en fonction de la teneur en bitume.....	40
Figure (V.2) Variation de la stabilité HF en fonction de la teneur en bitume	40
Figure (V.3) Variation des stabilités selon la température de l'eau de conservation	43
Figure (V.4) Variation de la densité selon la température de l'eau de conservation.....	43
Figure (V.5) Variation du fluage selon la température de l'eau de conservation.....	44
Figure (V.6) Variation de la stabilité et du fluage selon la température	44
Figure (V.7) Variation des vitesses soniques avant et après conservation	45
Figure (V.8) Variation de la stabilité en fonction de la vitesse sonique	45
Figure (V.9) Variation du fluage en fonction de la vitesse sonique après conservation...	46

LISTE DES PHOTOS

Photo (II.1) Apparie ultrasoniques.....	22
photo (III.1) sable alluvionnaire.....	30
Photo (IV.1) Presse et équipements de l'essai Hubbard Field.....	34
Photo (IV.2) Dimensions d'éprouvette HF.....	35
Photo (IV.3) Agrégats et bitume dans l'étuve de chauffage & Opération de malaxage ...	35
Photo (IV.4) Préparation de moulage.....	36
Photo (IV.5) Opération de moulage.	36
Photo (IV.6) Opération de démoulage	37
Photo (IV.7) des éprouvettes dans le bain-marie	37
Photo (IV.8) Opération d'écrasement des éprouvettes de HF	37
Photo (IV.9) Étapes d'expérience de paraffine.....	38

NOMENCLATURE

SA: Sable alluvionnaire.

SB: sable bitume.

HB: Hubbard Filed.

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).

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.

INTRODUCTION GENERALE

La route est une voie terrestre de communication qui permet de relier les lieux, de favoriser le développement économique d'une région et de faciliter les opportunités d'échanges et d'écoulement des produits. Elle permet en outre de réduire de façon substantielle, les coûts de transport et le temps de parcours. Les routes jouent donc un rôle important dans le développement socio-économique.

La construction routière en milieu désertique est devenue un besoin actuel, urgent et de plus en plus important avec la naissance de nouvelles activités telles la prospection et l'exploitation du sous-sol, le tourisme saharien, l'alimentation et l'exploitation de ces nouveaux marchés

Le but de notre activité est de former du béton bitumineux fin avec du sable alluvionnaire. Cette technologie (bitume de sable) a été initialement utilisée pour construire des trottoirs à faible trafic ; Ensuite, il s'est propagé aux routes à trafic moyen à lourd. Dans un second temps, nous avons déterminé les performances mécaniques de différents mélanges de sable et de bitume afin d'évaluer principalement leurs propriétés mécaniques.

Pour aboutir à cet objectif, on a divisé le présent mémoire en deux grandes parties ;

- Partie bibliographique et
- Partie expérimentale.

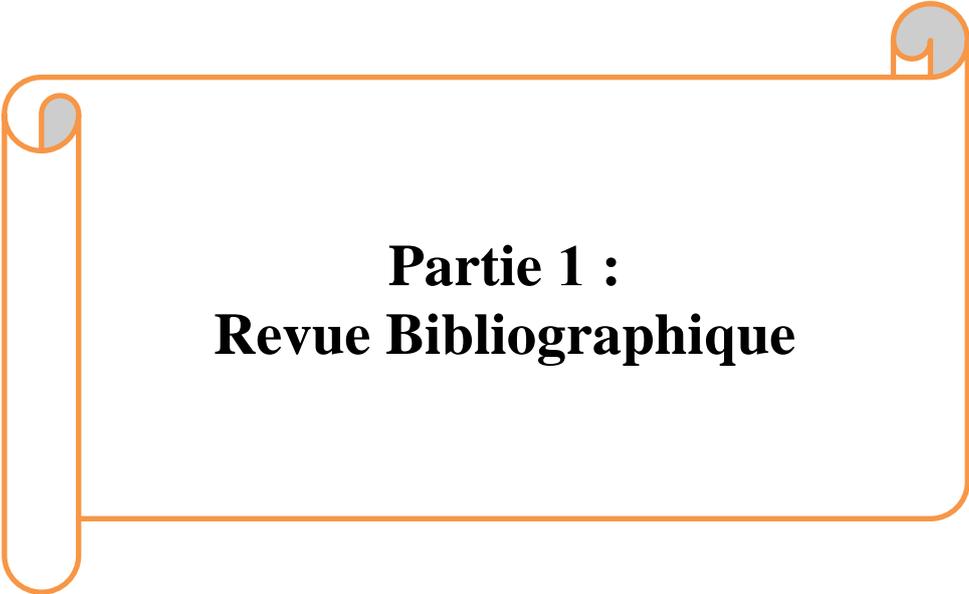
La première partie est consacrée à une revue bibliographique, dont le premier chapitre résume les généralités sur les sables-bitume ; définition, utilisation et comportement en assises de chaussées routière.

Le deuxième chapitre aborde la formulation des sables-bitume se basant sur les matériaux entrant dans la composition des bétons bitumineux de sable.

Deuxième partie ; Programme de démonstration, comprend trois chapitres. Le premier chapitre étudie la caractérisation des matériaux utilisés : le sable alluvionnaire ainsi que le bitume de base utilisé, ainsi que les propriétés physiques, chimiques et mécaniques, et la détermination des courbes des mélanges et des teneurs en bitume.

Le quatrième chapitre présente les tests et dispositifs expérimentaux utilisés. Dans ce chapitre, nous essayons d'abord de répondre à la question : Quelle est la conception d'une formulation de sable bitumineux à base de sable alluvial ? Nous identifions les tests mécaniques utilisés dans ce travail : les tests de terrain de Hubbard Field et deux tests ultrasoniques ; Définition, principe, cycle de test, etc.

Dans le cinquième et dernier chapitre, il est présenté les résultats obtenus après les essais effectués sur les mélanges retenus. Les résultats sont analysés, discutés et une déduction est faite sur les résultats les plus pertinents.



Partie 1 :
Revue Bibliographique

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX
FINS

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS BITUMINEUX

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 routières 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 :

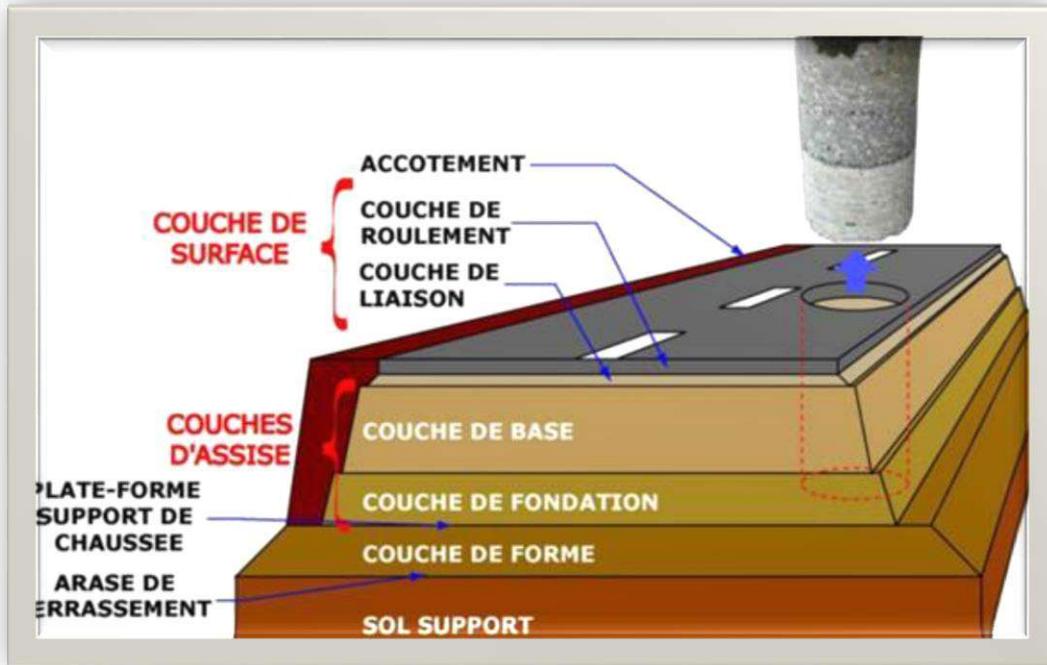


Figure (I . 1) Constitution d'une structure de chaussée type

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.

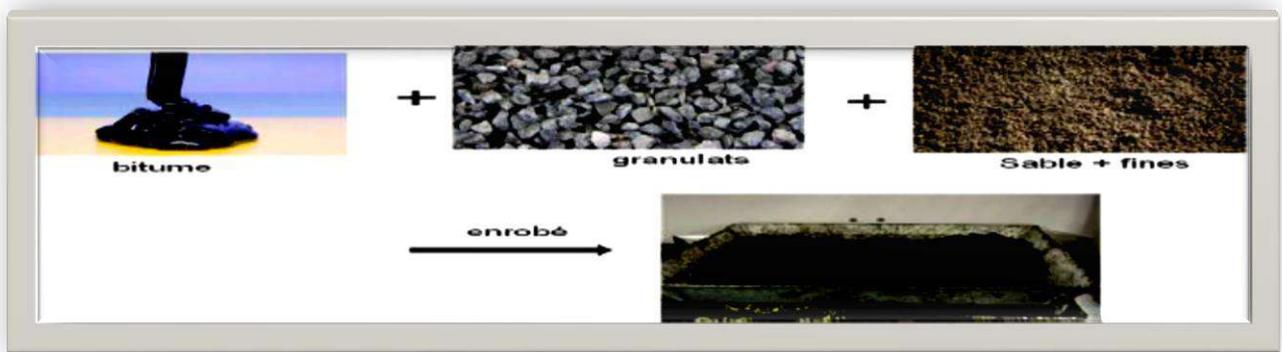


Figure (I . 2) Composition du béton bitumineux

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'ornièrage, 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.

I .3.1 Les types de béton bitumineux

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	Exemple d'utilisation
BBSG bétons bitumineux semi-grenus	Couches allant de 5 à 10 cm. Empêche les problèmes d'ornièr. 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 SABLES ENTRANT DANS LE DOMAINE ROUTIER

Ce sont des matériaux pulvérulents dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 0,08mm n'excède pas 30% [2]. Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation comportant à des degrés divers une décomposition sur place des différentes roches suivies d'un transport éolien donnant ainsi aux grains des formes arrondies.

Généralement selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par de multiples aspects : granulométrie, teneur et nature des fines, nature minéralogique, angularité, ...etc.

I .4.1 Les sables dunaires

Ils sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Ces sables sont accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable.

D'après Fookes et Higginbotham, le Sahara est constitué d'environ 40% de montagnes désertiques, 15% de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc. Le Sahara, quant à lui, couvre environ le tiers du continent africain[2].

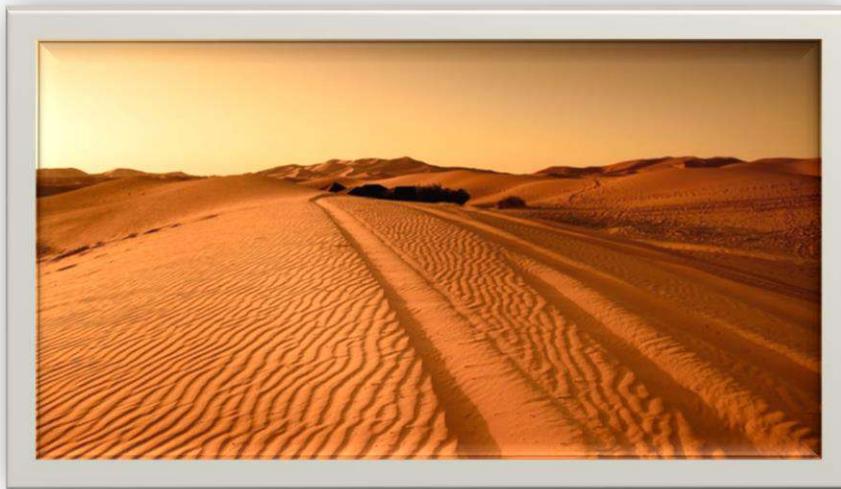


Figure (I . 3) Sable de dunes

I .4.2 Propriétés des sables de dunes

➤ Composition chimique

La composition chimique des sables dunaires est très simple ; plus de 92% de silice, de 1 à 2% de calcaire et des traces de différents oxydes. Du fait de cette constitution, le sable a une couleur blanche légèrement jaune et ocre, il se dessèche et perd facilement sa cohésion en surface [2].

➤ **Granulométrie**

Le diamètre des plus gros éléments des sables de dunes du Sahara est de l'ordre de 0,5mm. Il est maximal aux endroits les plus proches de la roche mère et diminue de plus en plus quand on s'en éloigne. Les particules deviennent aussi de plus en plus arrondies. Le diamètre des éléments les plus fins est de l'ordre de 0,04mm.

➤ **Forme et uniformité**

Le coefficient d'uniformité (Cu) des sables de dunes sont généralement de l'ordre de 1,8, tandis-que leur coefficient de courbure est proche de 10. Il s'agit donc d'un sable très fin mal gradué [2].

➤ **Propreté**

Le sable de dunes ne contient pratiquement pas de traces d'argile. Il a une limite de liquidité W_L de l'ordre de 20 et une limite de plasticité non mesurable. La valeur de l'équivalent de sable est supérieure à 60% et la valeur au bleu de méthylène est de l'ordre de 0,1.

➤ **Comportement mécanique**

Selon Ould Sid [2] des essais de compactage suivis par des essais de cisaillement direct ont été réalisés, les principaux résultats trouvés sont :

- l'effet de la teneur en eau sur le compactage est peu significatif quand la teneur en eau est faible (0 à 6%).
- la cohésion a une valeur très faible, de l'ordre de 5 kPa.
- l'angle de frottement interne varie de 30 à 35°, selon la densité du sable.

I .5. BETON BITUMINEUX DE SABLE EN ROUTE SAHARIENNE

Vu le déficit en agrégats dans les régions du Sud Algérien et le coût élevé de transport des agrégats qui intervient de manière très significative dans le prix de revient final des ouvrages, la tendance actuelle est d'intégrer en technique routière l'utilisation de matériaux locaux et notamment les sables.

Cette technique a fait son apparition lors de la réalisation des premières routes dans le sud par les pétroliers à la fin des années 1950. A cet effet, plusieurs exemples de routes ont été réalisés avec un sable-bitume en couche de roulement notamment :

- ✚ RN-3 région de Gassi-Touil : ce tronçon de longueur environ de 300km, réalisé avec un sable enrobé en couche de roulement d'épaisseur 5,5cm (1960).
- ✚ RN-49 Ouargla/Hassi-messaoud: 12km de ce tronçon est réalisée en sable enrobé.
- ✚ RN-3 Still-Tougourt : 140km cette route réalisés en sable enrobé avec des épaisseurs variables d'environ 6cm (1956 - 1957).
- ✚ RN 48 Stil-El Oued : réalisé avec un revêtement en sable bitume, le seul sable utilisé est le sable de dunes (1956).

✚ RN-56 Touggourt-Ouargla : sur une longueur de 67km.

Dans ce qui suit, nous présentons les règles de «la Technique Routière Saharienne» telles qu'elles ont été décrites par ses fondateurs lors du congrès de Beni-Abbes en 1965 [10]

I .5.1 Formulation des enrobés bitumineux fins

Comme le cas pour l'étude de la formulation des enrobés bitumineux à chaud, les enrobés bitumineux fins suivent la même démarche pour déterminer la composition optimale en granulats et bitume. Cette opération a pour but :

- ✚ De déterminer les caractéristiques adéquates des constituants en fonction du trafic et du climat considérés.
- ✚ De définir les teneurs des différents constituants qui permettent l'obtention de mélanges bitumineux les plus performants, selon leur utilisation dans une structure de chaussée (couche de base ou couche de roulement) en tenant compte de paramètres trafic et de climat. [1]

I .6 TECHNIQUE ROUTIERE SAHARIENNE

I .6.1 Définition de la technique routière saharienne

La technique routière saharienne (TRS) regroupe les principales pratiques et processus de qu'il y a eu Entre 1956 (date de la découverte des premiers gisements pétroliers) et 1963 (date de la tenue de la première rencontre sur les techniques routières sahariennes) plus de 2.500km de routes ont été construites. C'est lors de ces impressionnantes réalisations qu'un certain nombre de problèmes spécifiques à la région désertique ont été constatés, analysés et ont finalement trouvé des solutions.

Fort de cette expérience, les ingénieurs et techniciens de la route ont jeté les premiers jalons de la construction routière saharienne. C'est en 1965, lors du séminaire de Beni-Abbes, que les principes de la technique routière saharienne ont été arrêtés (M. Frenzy codifia et justifia cette technique dans un article paru dans la "revue générale des routes et aérodromes" en 1966.[4]

I .6.2 Les principales idées de la TRS

En se basant sur l'expérience acquise lors de réalisation de plusieurs centaines de kilomètres selon cette technique, on peut dégager les grandes

Le trafic saharien est essentiellement composé de camions gros porteurs souvent en surcharge.

Le climat saharien, par contre, est très sec. Les quelques pluies tombent presque toujours en précipitations relativement importantes pendant un temps très court.

L'imbibition n'est pas à craindre à la seule condition que la forme de la surface permette l'écoulement des eaux. [6]

Le problème des chotts doit être dissocié de la technique routière saharienne.

La couche de roulement doit être souple pour se plier sans se rompre.

L'épaisseur de la couche de base peut être faible car le sol de fondation étant sec, sans portance est en général bon (C.B.R > 20).

La possibilité d'utiliser des matériaux cohérents plus ou moins argileux en couche de base impose de s'assurer du bon écoulement des eaux de pluie.[5]

I .7. ETAT DE L'ART SUR L'UTILISATION DES ENROBES BITUMINEUX FINS

Tableau (I .2) Quelques études réalisés sur les enrobés bitumineux fins

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 Á BASE DE SABLE DE DUNES	BENZID Abdelhamid	2019	Matériaux : BB avec sable de dunes + PEHD Essais : Marshall et ultrasons
3	ETUDE DES PROPRIETES 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 MECANQUES 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 les gravillons (0/3) utilise actuellement par le sable Essais : Marshall et Duriez
6	UTILISATION DU SABLE DE DUNES EN TECHNIQUE ROUTIERE ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	BENOUAKHIR 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 .8 CONCLUSION

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

Le mélange bitume-agrégat obtenu doit avoir :

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

Chapitre II :
ESSAI HUBBARD FIELD
ET ESSAI ULTRASONIQUE

Chapitre II : ESSAI HUBBARD FIELD ET ESSAI ULTRASONIQUE

II.1 . A_ ESSAI DE STABILITE HUBBARD FIELD

II.1. 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.

II.1.2 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 s'écouler à travers l'orifice s'appelait la stabilité du champ Hubbard. Dans le concept, ceci est identique à la stabilité Marshall où l'échantillon est chargé sur le côté et la charge maximale est la stabilité Marshall.

II. 1.3 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 40° 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.

II.1.4 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)

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

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

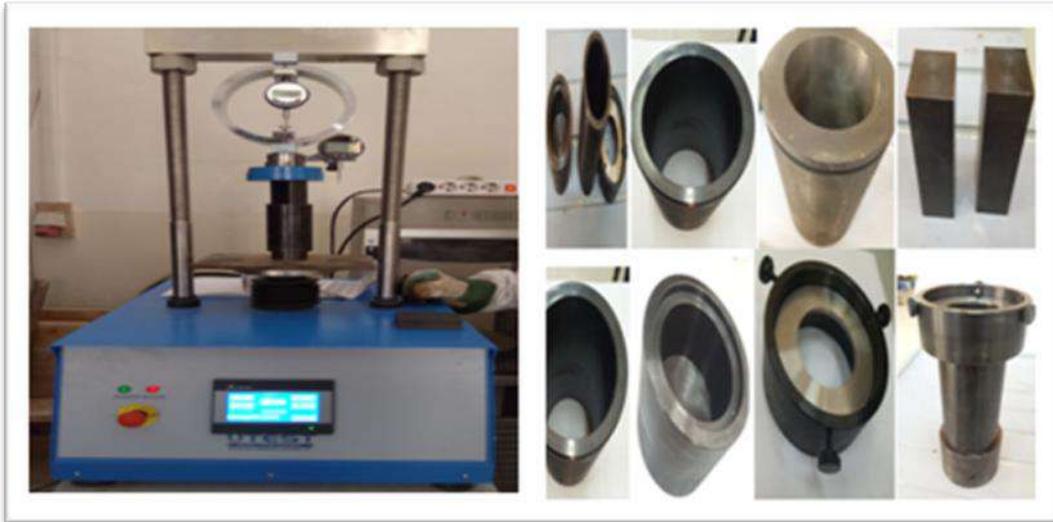


Figure (II . 1) Presse et équipements de l'essai Hubbard Field

II.1.5 ETAPES DE REALISATION DE L'ESSAI

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

II.1.6 PREPARATION ET DURCISSEMENT DES EPROUVETTES D'ESSAI

- Obtenir par quartiers deux portions, chacune d'environ 250g de masse, à partir de l'échantillon préparé dans la préparation de l'échantillon (d)
- Peser le moule et enregistrer la masse (M2) à 0,5g 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. Essayez tout excès d'huile
- Prendre une des portions de 250g et déterminer la masse à 0,05g près. Calculer le nécessaire quantité de matériau bitumineux en pourcentage en masse.
- 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
- Placer une partie du matériau dans le moule de manière à former un échantillon de 50 mm de diamètre sur 50 mm En hauteur
- 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

- 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.
- 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 ± 2 mm.
- Retirez la plaque de base, éjectez le spécimen compacté du moule et notez la masse du spécimen (M) à 0,5g près.
- Sécher les échantillons jusqu'à masse constante dans une étuve à 55-60°C.
- Enregistrer la masse (M1) après séchage et déterminer le diamètre moyen de l'éprouvette à 0,5mm près sur plusieurs diamètres
- Déterminer la teneur en humidité (w) du mélange à partir de la portion de matériau restant après préparation de l'éprouvette
- Placer l'échantillon dans de l'eau à température ambiante à une profondeur de 10 mm pendant 72h.
- Retirer l'échantillon de l'eau, sécher en surface et enregistrer la masse (M2)

II.1.7 DETERMINATION DE LA STABILITE

- Assembler le cylindre d'essai, l'anneau d'essai et le support d'anneau
- Placez le cylindre dans le moule d'essai avec la face vers le bas qui était vers le bas pendant le durcissement.
- 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.
- 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 25mm/min.
- Enregistrement la stabilité, en tant que charge totale maximale requise pour provoquer la rupture de l'éprouvette, au plus proche 0,5kN

II.1.8 RAPPORTS

II.1.8.1 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 ;
- M_{Va} : 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

II.1.8.2 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 : $140 \pm 5^\circ\text{C}$
- bitume 60/70 : $150 \pm 5^\circ\text{C}$
- bitume 40/50 : $160 \pm 5^\circ\text{C}$
- bitume 20/30 : $180 \pm 5^\circ\text{C}$

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

Pseudo-viscosité STV 25 °C, 10 mm	Temperature 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	$100 \pm 5^\circ\text{C}$

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 °C, 12 °C.

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

II.1.8.3 Détermination préalable de la masse des éprouvettes

La masse des éprouvettes est déterminée par exécution d'une éprouvette témoin, d'une masse indicative de 100g ±1g 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.

II.1.8.4 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 $m + 1$ 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.

II.1.9 MODE OPERATOIRE

II.1.9.1 Conservation des éprouvettes

Les six éprouvettes sont conservées pendant 24h à 18±1°C et 50±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 °C ±1°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.

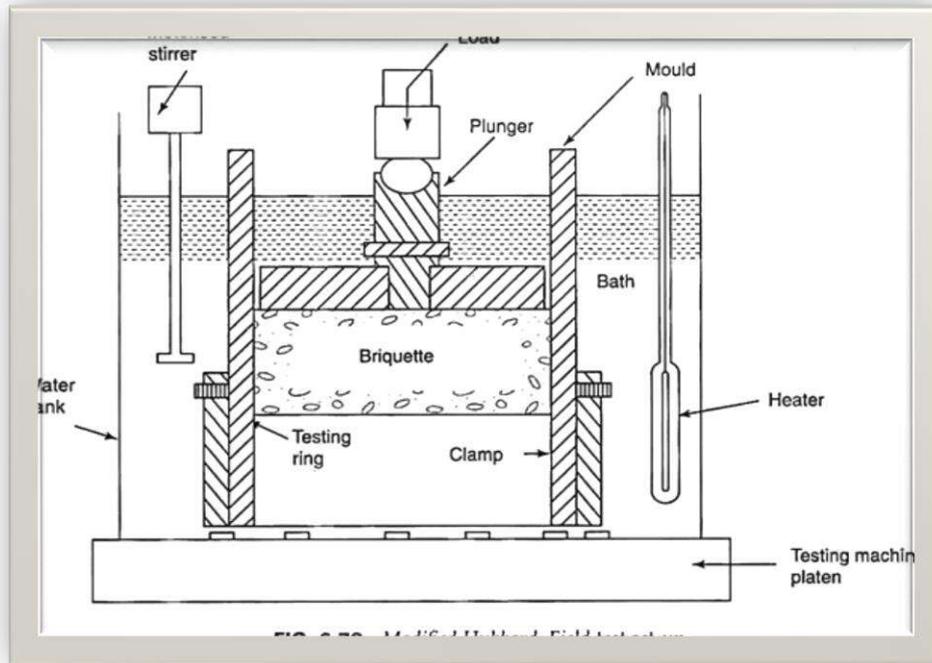


Figure (II. 2) Modified Hubbard Field

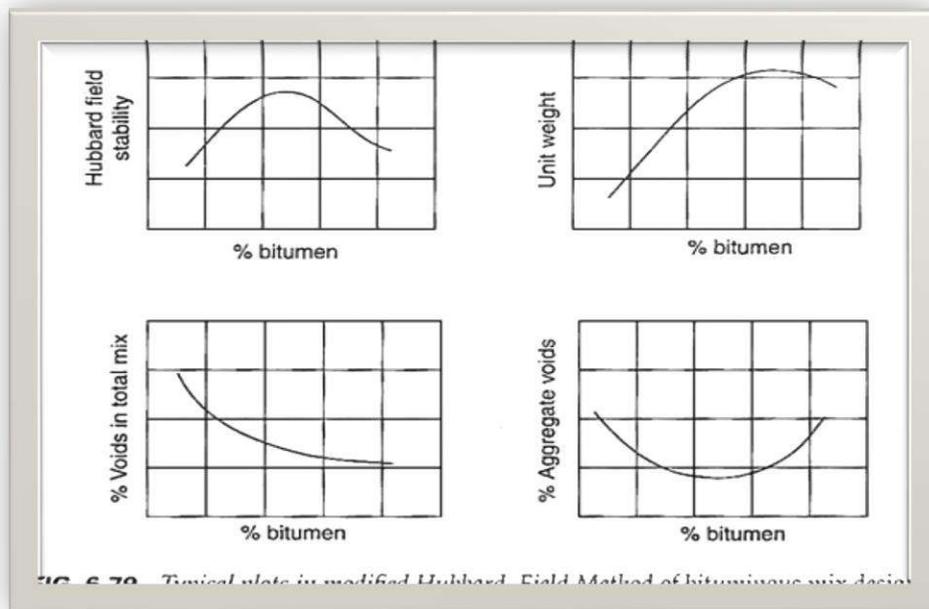


Figure (II. 3) Typical Plots in modified Hubbard Field method of bituminous mix design

II.2 B - ESSAIS ULTRASONIQUES

II.2.1 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.

II.2.2 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.

II.2.3 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

Ce premier essai non destructif a été réalisé par WILLIAMS EN (1936), ensuite 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) LESHCHINSKY 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.

II.2.4 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.



Photo (II. 1) Appareil ultrasonique

II.2.5 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 chocs. Des cristaux semblables sont utilisés dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU (1969).

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

II.2.6 MODES OPERATOIRES

II.2.6.1 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.

II.2.6.2 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.

II.2.7 MANIERES DE MESURE

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

II.2.7.1 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.

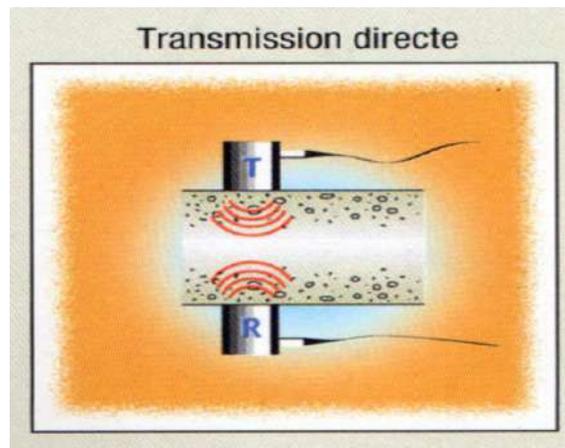


Figure (II .4) Indique la méthode de mesure directe

II.2.7.2. 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.

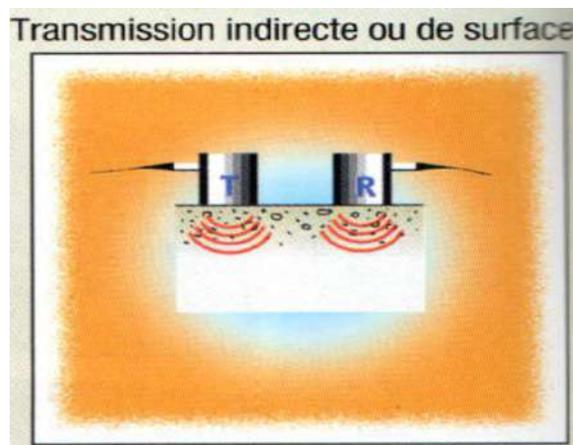


Figure (II .5) Indique la méthode de mesure indirecte

II.2.7.3 Mesures semi-directes

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.

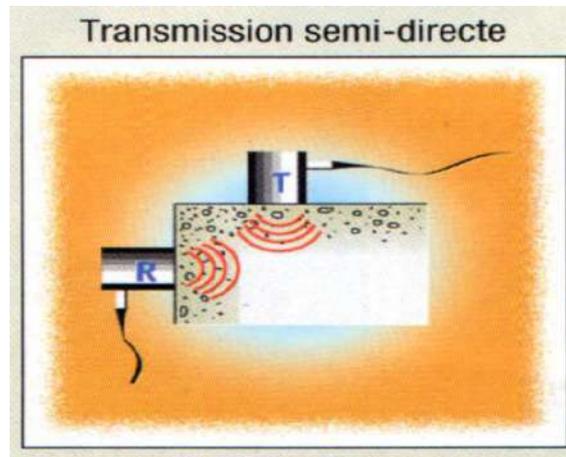


Figure (II.6) Méthode de Mesures semi-directes

II.2.8 AVANTAGES

- 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.

II.2.9 INCONVENIENTS

- 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.

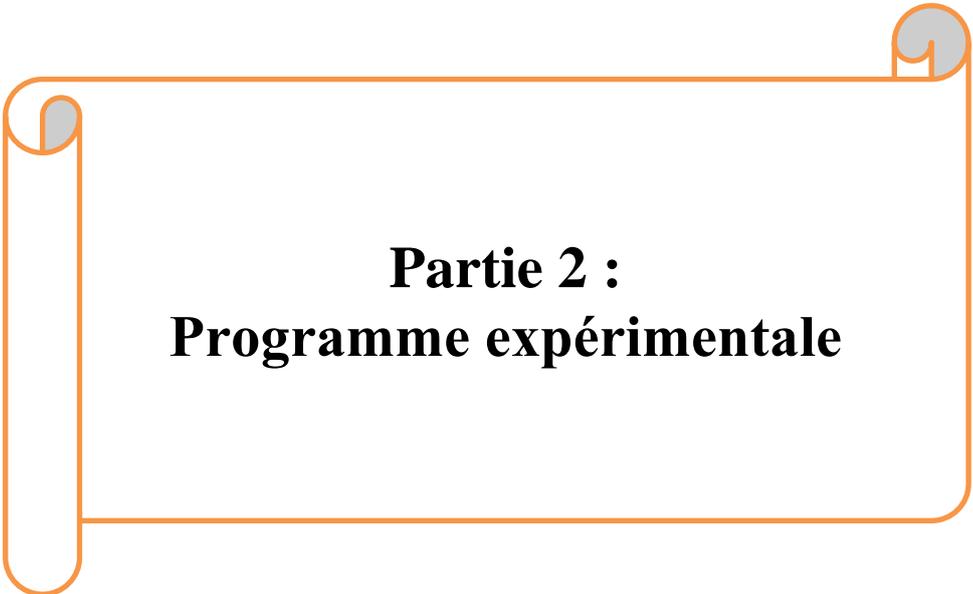
Dans ce chapitre, nous avons discuté du test principal effectué sous la forme "d'ultrasons".

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.3 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.

An orange scroll graphic with a white background, featuring a vertical strip on the left side and a horizontal strip on the top right side, both with rounded ends and a small grey shadow. The text is centered within the white area.

Partie 2 :
Programme expérimentale

Chapitre III :

**CARACTERISATION DES MATERIAUX
UTILISES**

CHAPITRE III : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

III.1 INTRODUCTION

Afin de traiter la partie expérimentale concernant la valorisation de la poudrette de caoutchouc dans le domaine routier, nous allons exposer dans ce chapitre, les matériaux ayant été utilisés pour les différentes formulations des enrobés confectionnés.

III.2 MATERIAUX EXPERIMENTES

III.2.1 Bitumes 40/50

Le bitume pur utilisé dans notre partie expérimentale proviennent de la raffinerie de l'unité de production NAFTAL sise à Touggourt, il s'agit de deux 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 ces derniers ; Il s'agit des essais de pénétrabilité à l'aiguille (PEN à 25°C), de l'essai de ramollissement bille et anneau (TBA) ainsi que la détermination de la densité relative.

III.2.2 Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF EN 1426)

La pénétrabilité à l'aiguille est la profondeur d'enfoncement, exprimée en dixièmes de millimètre, d'une aiguille normalisée de 1 mm de diamètre, sous une charge de 100 g, appliquée pendant 5 s sur un échantillon de bitume maintenu à 25°C [3]

La pénétrabilité est une des deux caractéristiques fondamentales qui permettent de définir un bitume, où est définis par leur classe de pénétrabilité (la pénétrabilité exprimé en 1/10ème de millimètre) dont l'appellation correspond à sa borne inférieure et à sa borne supérieure par exemple un bitume de classe 40/50. Plus un bitume est dur, plus sa valeur de pénétrabilité est faible.

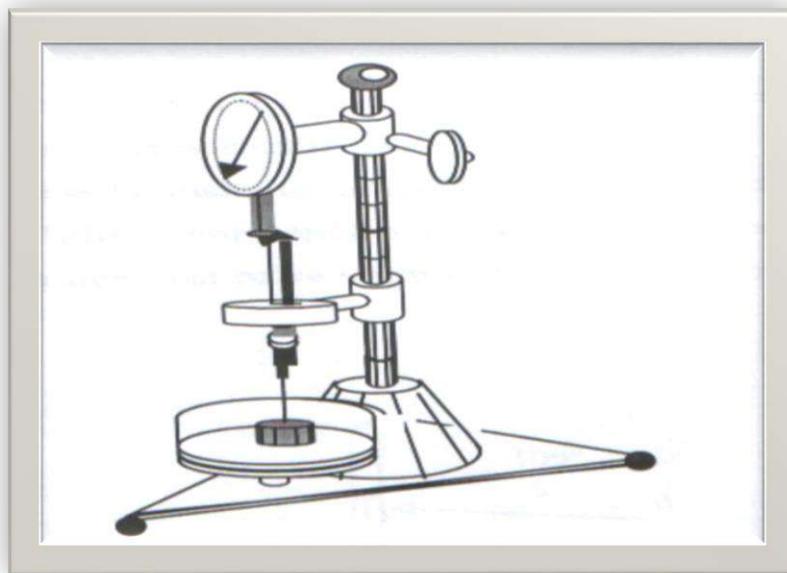


Figure (III. 1) Pénétromètre à aiguille

III.2.3 Point de ramollissement bille et anneau (NF EN 1427)

Ce test consiste à déterminer la température pour laquelle la poche de bitume, formée pendant la chute de la bille, touche la plaque de référence placée à 25,4 mm sous l’anneau de bitume. Le bain est chauffé à une vitesse constante de 5 °C/min.

Le point de ramollissement est la deuxième caractéristique fondamentale d’un bitume. Dans cet essai, plus le point de ramollissement est élevé plus le bitume est dur. [3]

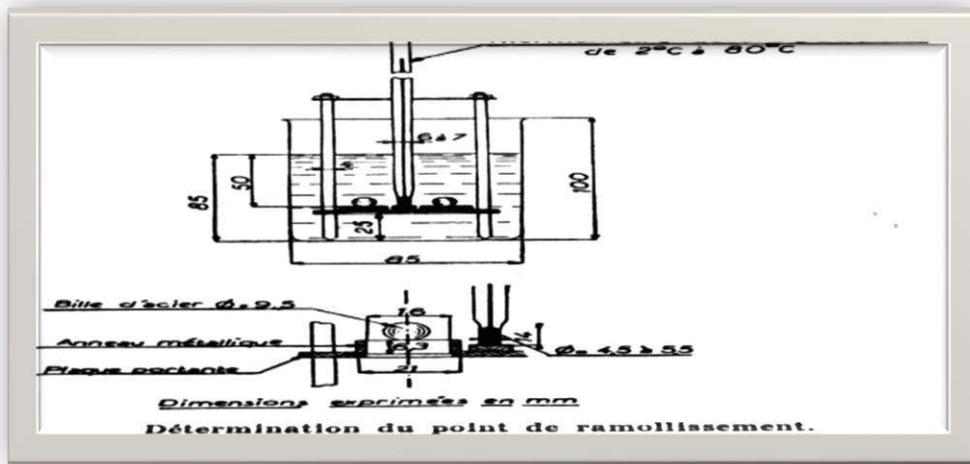


Figure (III.2) Mesure de la température de ramollissement du bitume

Les caractéristiques usuelles du bitume sont synthétisées dans le tableau III.1 La figure III.3* représente l’échantillon de bitume avant l’essai de pénétrabilité.

Tableau (III. 1) Caractéristiques du bitume utilisé

Essai	Norme	Résultat
Densité relative à 25°C	EN 1526	1,053
Pénétrabilité à 25 °C (0,1mm)	EN 1426	46,30
Température B.A (°C)	EN 1427	43,85



Figure (III 3) Bitume pur 40/50

III.3 PARAMETRES INFLUENÇANT LE CHOIX D'UNE FORMULATION

Les principaux caractères consiste à choisir les granulats,[11] le liant et les ajouts utilisés pour la fabrication de l’enrobé. Ceci sur la base des considérations suivantes :

- 🚧 **Traffic** : volume, pourcentage de poids lourds, charge par essieu

- ✚ **Climatologie** : pluviométrie, gel-dégel, température, ensoleillement
- ✚ **Position de la couche** : roulement, base, fondation liée
- ✚ **Fonction de la couche** : adhérence, perméabilité, bruit, orniérage, etc.

III. 4 LE SABLE

Le sable alluvionnaire 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.



Photo (III.1) Sable alluvionnaire

III.5 GRANULATS

Le granulat utilisé est le sable de Hassi-essayeh

Tableau (III.2) Pourcentages des tamisât des sable HA

Tamis (mm)	3,15	2,5	2	1,25	1	0,8	0,63	0,5	0,315	0,2	0,16	0,08
Tamisat (%)	99,79	99,56	97,56	90,29	85,29	82,29	67,07	47,07	22,07	17,07	6,21	1,51

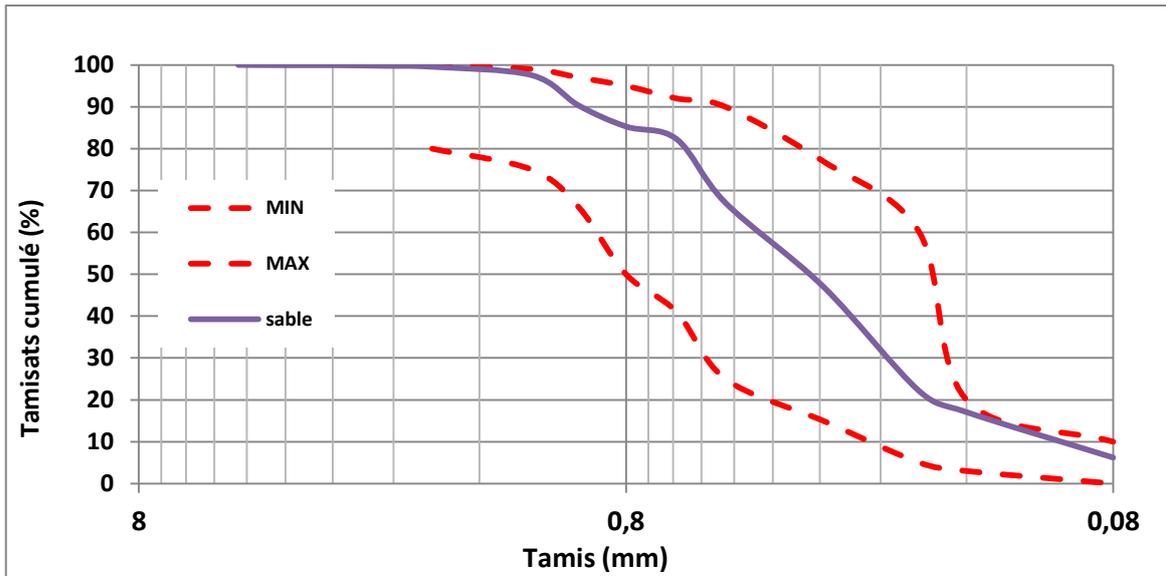


Figure (III.4) Courbes granulométriques du sable HA et fuseau de référence

III.6 DETERMINATION DE LA SURFACE SPECIFIQUE

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

$$\Sigma = (0,25G + 2,3S + 12s + 135f) / 100$$

G, S, s et f sont 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 mélange, les valeurs de ces derniers sont respectivement :

$$G= 0\%, \quad S=78 \%, \quad s=20\% \quad \text{et} \quad f=02\%.$$

La surface spécifique correspondante est $\Sigma= 6,89 \text{ m}^2/\text{kg}$

III.7 DETERMINATION DE LA TENEUR EN BITUME

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

Tableau (III.3) Teneurs en liant pour différentes valeurs du module de richesse

K	3,45	3,6	3,75	3,9
TL (%)	5,28	5.51	5,74	5,97

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

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

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

Moyennant les teneurs en liant mentionnées en tableau (III.3).

CHAPITRE IV :
ESSAIS REALISÉS ET
DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

CHAPITRE IV : ESSAIS REALISÉS ET DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

IV.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous exposerons les étapes de la campagne expérimentale qui est basée sur la réalisation, sur le sable bitume, de deux essais mécaniques à savoir l'essai de stabilité Hubbard Field (HF).

Ces essais ont pour but de juger la validité de notre choix des mélanges sélectionnés précédemment et ceci par la détermination des performances mécaniques de chaque mélange.

IV.2. ETUDE DE PERFORMANCE

IV.2.1. Essai Hubbard Field

La stabilité Hubbard Field est définie dans cet essai par la résistance maximale développée par l'éprouvette à 60 ° C , 40° C , lorsqu'elle est testée dans des conditions d'extrusion.

- ✚ 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 norme relative à cet essai et qui est reportée en annexes est :

- ✚ - NF P98-251-3

Ci-après, la photo de l'ensemble des équipements entrant dans la réalisation de l'essai HF

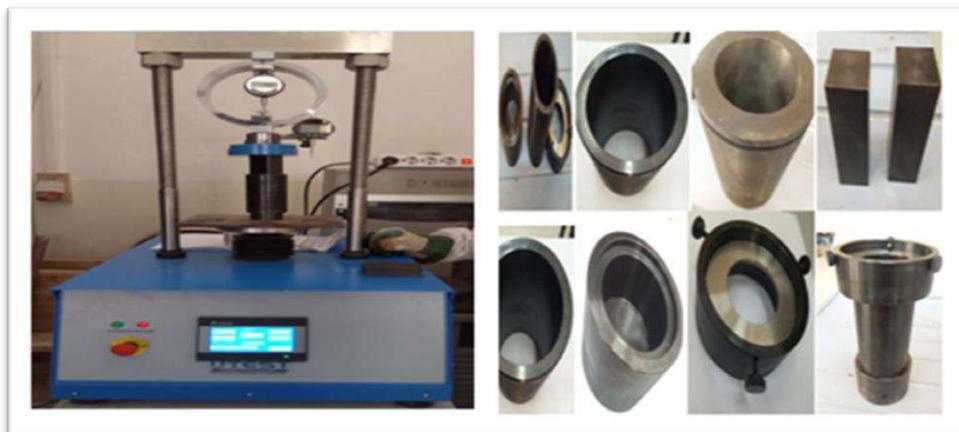


Photo (IV. 1) Presse et équipements de l'essai Hubbard Field.

IV.2.2. Confection des éprouvettes

Les éprouvettes sont confectionnées suivant le type d'essai de H F.

Préparation des agrégats : Chacune des types des agrégats entrant dans la composition du mélange hydrocarboné est prélevée selon la norme NF P98-251-3 « préparation d'un échantillon pour essai ».

Les agrégats (S0/3) sont chauffés dans un récipient dans une étuve à une température de l'essai 160°C en moins de 2h.

Une quantité de liant correspondant aux besoins de l'essai est prélevée sans dépasser 100°C. Le liant prélevé est placé dans un récipient rempli et fermé. La mise en température du liant est effectuée en deux phases :

- Le récipient rempli et fermé, placé en étuve, est porté à la température de référence - 0°C, + 10°C en moins de 5h. (Dans notre étude la température de référence de bitume 40/50 était entre 160°C et 170°C).

IV.2.3 Détermination la masse (M) des éprouvettes de chaque mélange :

On a $M=V \times \gamma_{theorique}$

L'éprouvette de le H F est cylindrique suivent le photo(IV.2)

Le volume(v) de cette éprouvette et

égale: $V = \frac{\pi D^2}{4} \times H$

$\varnothing = 50,8 \text{ mm}$

$S = 2026,83 \text{ mm}^2$

(H: la hauteur et

D: diamètre de l'éprouvette)

La densité théorique ou absolue

$$\gamma_{theorique} = \frac{100\% + \%bitume}{\frac{\%S0/3}{\gamma_{sS0/3}} + \frac{\%bitume}{densitébitume}}$$

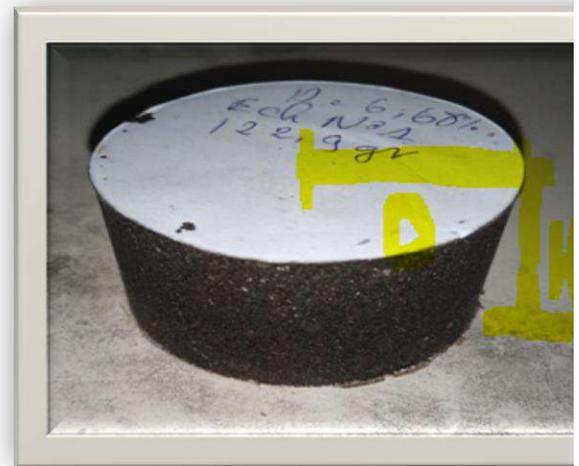


Photo (IV.2) Dimensions d'éprouvette HF

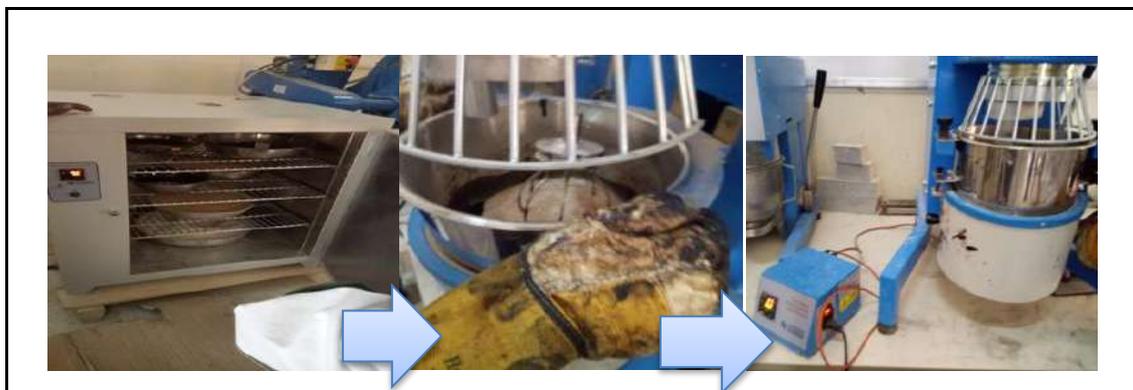


Photo (IV. 3) Agrégats et bitume dans l'étuve de chauffage & Opération de malaxage

Après l'opération de malaxage de tous les mélanges, pour chaque mélange nous prenons la quantité précédemment étudiés et qui est nécessaire pour mouler l'éprouvette et la mettre dans le moule puis dans l'étuve pendant 10 minutes.



Photo (IV.4) Préparation de moulage

IV.2.4. Moulage

Après la fin de cette période nous retirons le moule contenant l'échantillon et nous le mettrons dans l'appareil de pression pour appliquer les forces de pression.

- ✓ Après 5 minutes, on applique la force qui est égale à 42KN

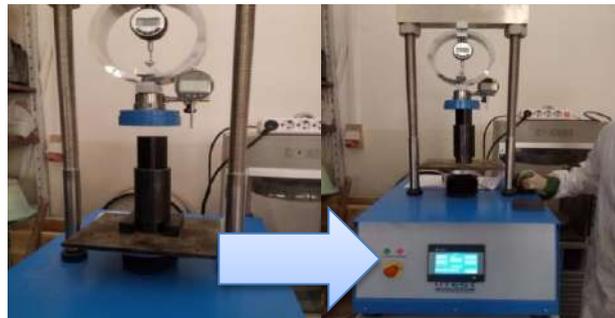


Photo (IV. 5) Opération de moulage.

VI.2.5. Démoulage:

Après le moulage, on fait passer l'éprouvette dans la hausse en s'aidant du piston extracteur et de la presse comme la ci-dessous explique cette démarche, La confection des autres éprouvettes se fait avec les mêmes étapes que précédemment.

Quand les éprouvettes



Photo (IV. 6) Opération de démoulage

VI 2.6.Écrasement

Les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression après conservation dans des conditions définies :

- ✓ Préparer le bain-marie à 40° et $60^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Immerger les éprouvettes et les mâchoires d'écrasement dans l'eau distillée à 40° et 60°C pendant 60 minutes.



Photo (IV. 7) Eprouvettes dans le bain-marie



Photo (IV. 8) Opération d'écrasement des éprouvettes de HF

VI.3 DETERMINATION DE LA DENSITE APPARENTE (NFP 94-064) :

L'éprouvette prévue pour cette mesure est pesée après sa confection et après immersion dans un bain de paraffine fondue (photo (IV.9)). 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 P_0 le poids de l'éprouvette avant paraffinage,

P_1 : 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 :VOLIME 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

$$D H = P 0 / V n$$



Photo (IV. 9) Étapes d'expérience de paraffine

VI.4 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter les principales étapes expérimentales pour connaître les propriétés mécaniques de tous les mélanges proposés dans cette étude et comment déterminer les différents paramètres ou grandeurs de chaque essai, l'essai Hubbard Field

Les deux principaux paramètres issus des essais sont premièrement la stabilité qui elle 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.

CHAPITRE : V

ESSAIS REALISES ET INTERPRETATION

CHAPITRE :V

ESSAIS RÉALISÉS ET INTERPRETION

V.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats relatifs aux essais Hubbard Field et ceux de la presse à cisaillement giratoire (ULTRASO) effectués au sein du laboratoire de département de génie civil et hydraulique.

V.2 ETUDE DE FORMULATION

Après avoir préparé le mélange approprié pour chaque catégorie, nous enregistrons la force de stabilité de l'échantillon et fluage Dans les conditions à tester.

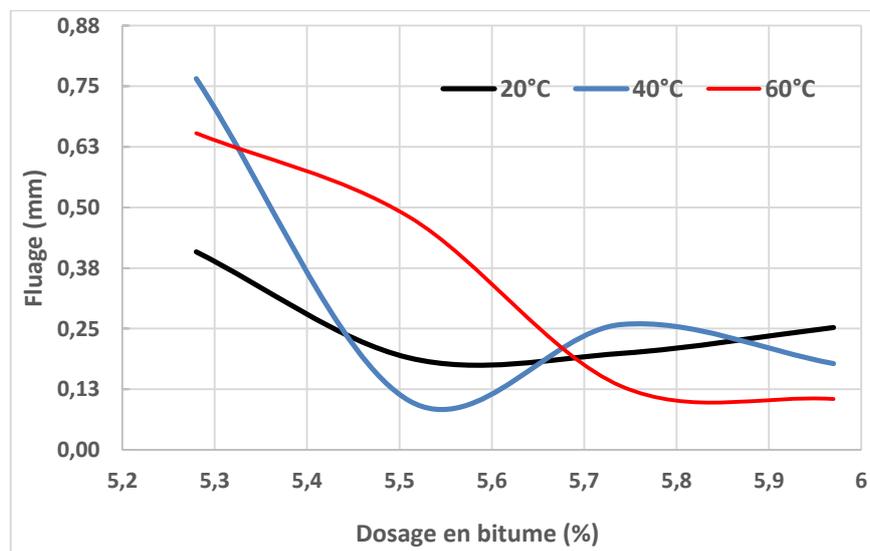


Figure (V. 1) Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume

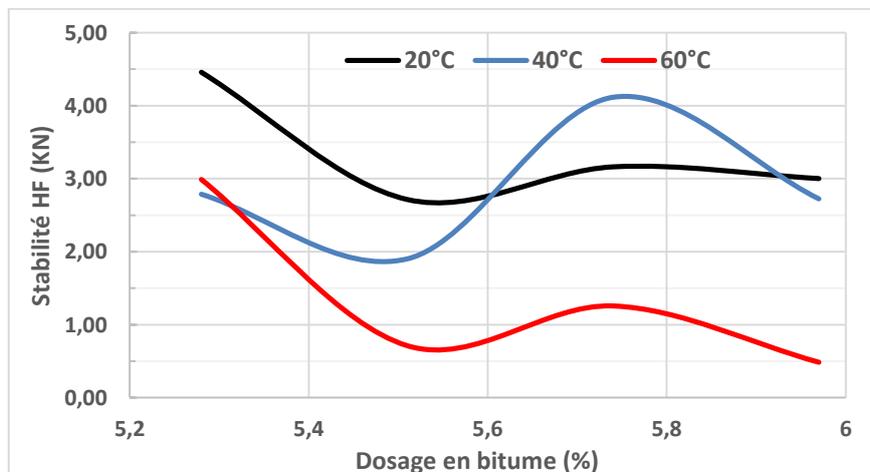


Figure (V. 2) Variation de la stabilité HF en fonction de la teneur en bitume

V .3 SYNTHÈSE DES RESULTAS HUBBARD FIELD

D'après les résultats Hubbard Field, on ressort que le pourcentage de bitume de 5.75% représente le mélange le plus résistant dans les deux conditions ; basse température (20°C) et haute température (40°C).

Une vérification de compactabilité est nécessaire afin de juger la chute de compacité et son impact sur la mise en œuvre de ce genre d'enrobés.

V .4 RESULTATS OBTENUS

Après avoir obtenu la teneur en bitume appropriée du mélange, on a testé les éprouvettes conçues aux différentes conditions de conservation dans le bain-marie. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau (V.1) Résultats obtenus avant et après conservation

N° Epr	Poids (g)	Haut (mm)	Volume (mm ³)	Y g/cm ³	MOY (%)	V1 (m/s)	MOY (m/s)	T (°C)	V2 (m/s)	MOY (m/s)	Stab (KN)	MOY (KN)	Fluage (mm)	MOY (mm)
40	100,700	26,13	52961,068	1,901	1,90	1564,671	1607,46	20	1397,33	1293,92	2,977	3,20	0,196	0,25
41	100,500	26,13	52961,068	1,898		1420,109		20	1404,84		3,610		0,201	
42	100,000	25,91	52515,165	1,904		1837,589		20	1079,58		3,002		0,365	
46	100,400	26,44	53589,385	1,874	1,86	550,833	781,55	40	481,60	446,55	0,852	0,96	0,423	0,44
47	100,400	26,64	53994,751	1,859		708,511		40	476,57		0,801		0,450	
48	100,100	26,59	53893,410	1,857		1085,306		40	381,49		1,231		0,450	
52	99,400	27,53	55798,630	1,781	1,80	419,026	460,52	60	202,43	257,89	0,245	0,25	0,452	0,44
53	100,000	27,23	55190,581	1,812		523,654		60	285,43		0,245		0,433	
54	100,000	27,21	55150,044	1,813		438,871		60	285,82		0,245		0,444	

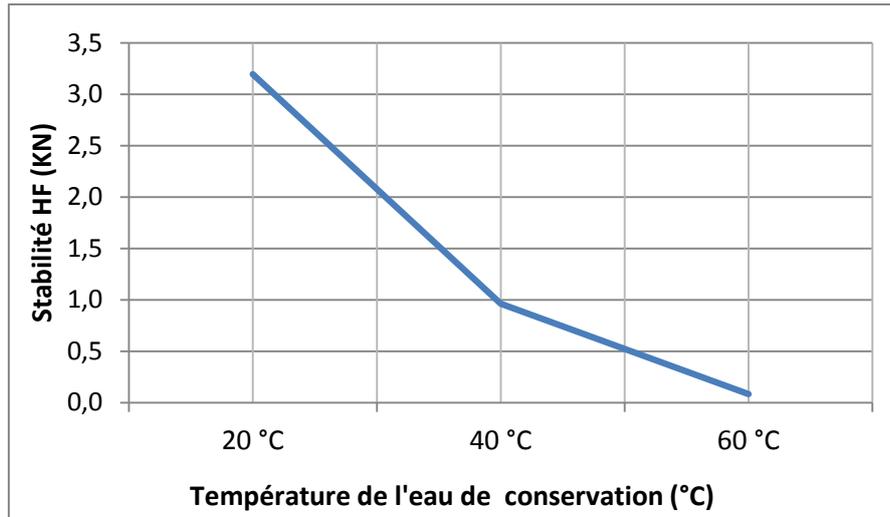


Figure (V. 3) Variation des stabilités selon la température de l'eau de conservation

Nous constatons d'après figure V.3 que les stabilités diminuent selon la température. On remarque aussi qu'entre 20 et 40 °C, la stabilité diminue fortement contrairement aux températures supérieures à 40°C. De façon générale, la température joue un rôle important dans la stabilité de l'échantillon et le maintien de ses propriétés physiques.

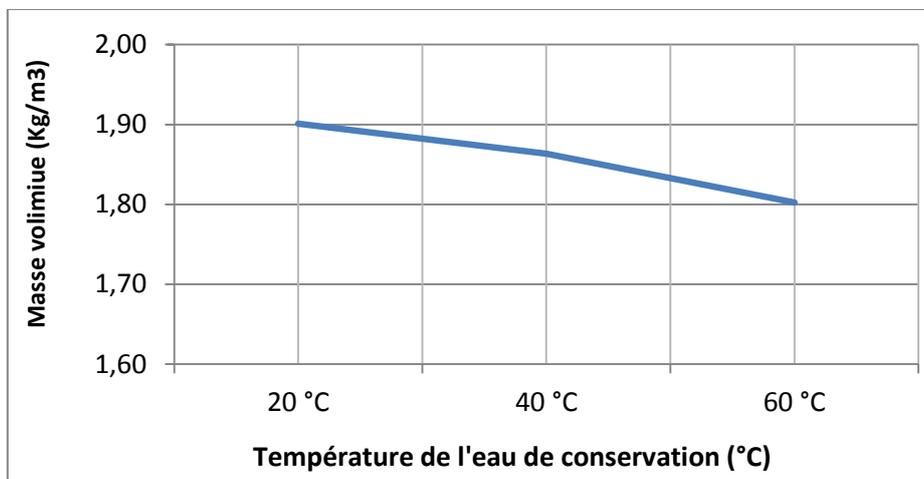


Figure (V. 4) Variation de la densité selon la température de l'eau de conservation

Nous notons également que la masse volumique est également affectée par le changement de température, et cela est dû au type de bitume l'utilisateur.

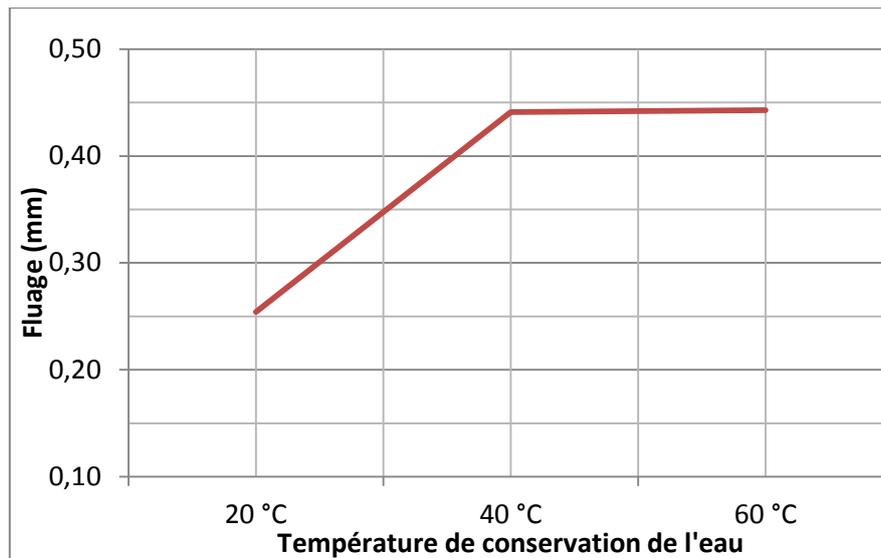


Figure (V.5) Variation du fluage selon la température de l'eau de conservation

D'après la figure V.5, on peut dire que la valeur de fluage augmente avec le l'augmentation de la température de l'eau de conservation de manière linéaire entre 20 et 40 °C.

Entre 40 et 60 °C, le fluage reste stable et garde la valeur d'environ 0,44mm.

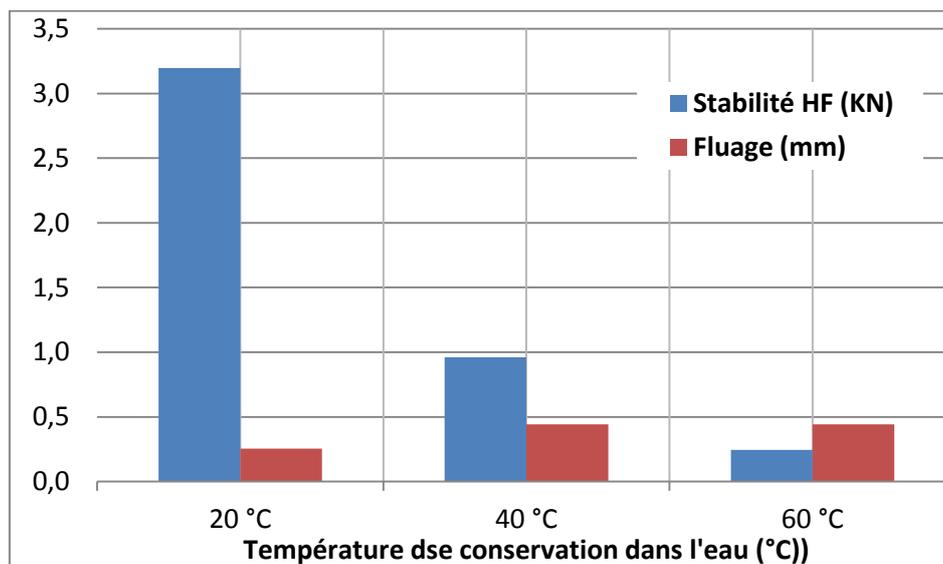


Figure (V.6) Variation de la stabilité et du fluage selon la température

D'après la figure V.6, la température influe négativement sur les stabilités, c'est-à-dire que lorsque la température augmente les stabilités diminuent de 3,2 KN à 20 °C jusqu'à 0,25 KN à 60 °C donc de plus de 92%.

Quant au fluage, on remarque que l'influence de la température n'est pas significative dans la mesure où celui-ci reste relativement constant quelle que soit la température de l'eau de conservation.

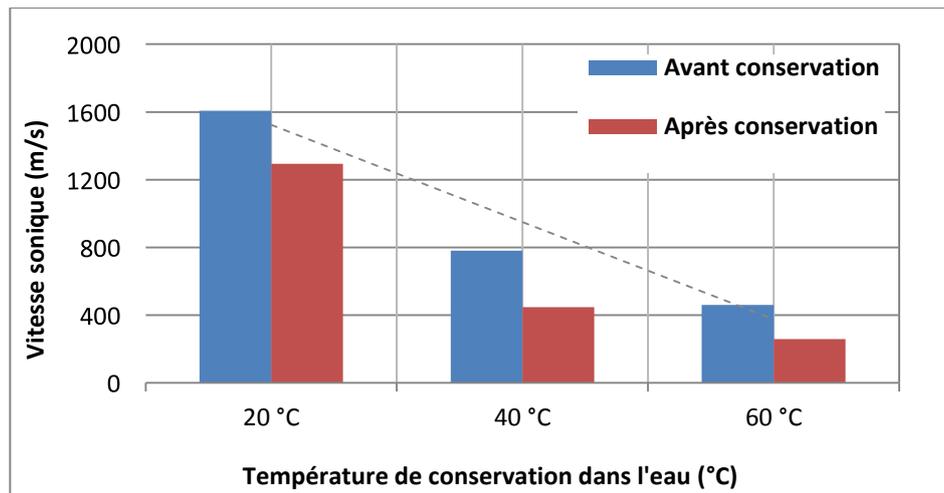


Figure (V. 7) Variation des vitesses soniques avant et après conservation

À partir de la figure V.7, on remarque que la vitesse sonique et la température de conservation des éprouvettes dans l'eau sont inversement proportionnelles. Cela veut dire que lorsque la température augmente les vitesses diminuent.

De plus, on constate également que les vitesses soniques avant conservation des éprouvettes dans l'eau sont supérieures aux vitesses d'après conservation.

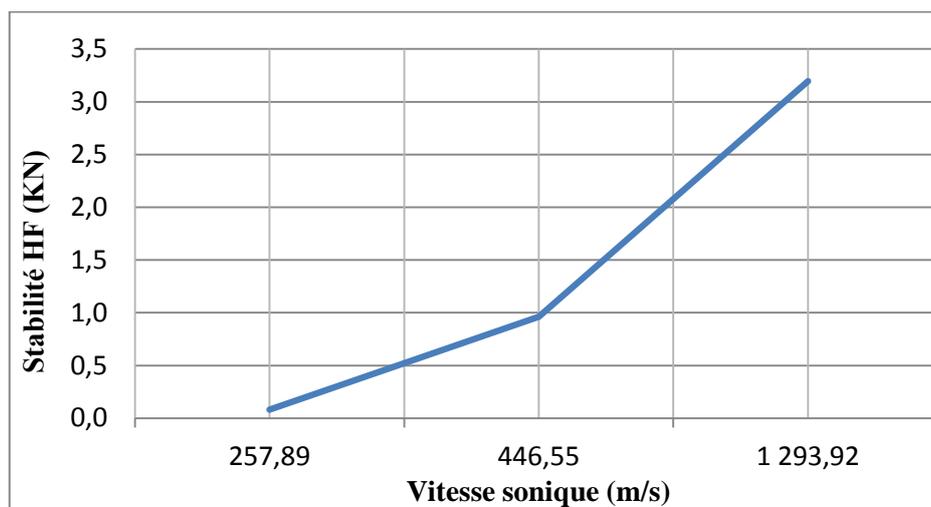


Figure (V. 8) Variation de la stabilité en fonction de la vitesse sonique

Cette figure montre l'évolution de la stabilité des échantillons selon la vitesse mesurée par l'appareil à ultrasons après son extraction du bain-marie. On remarque également que la stabilité augmente avec l'augmentation de la vitesse.

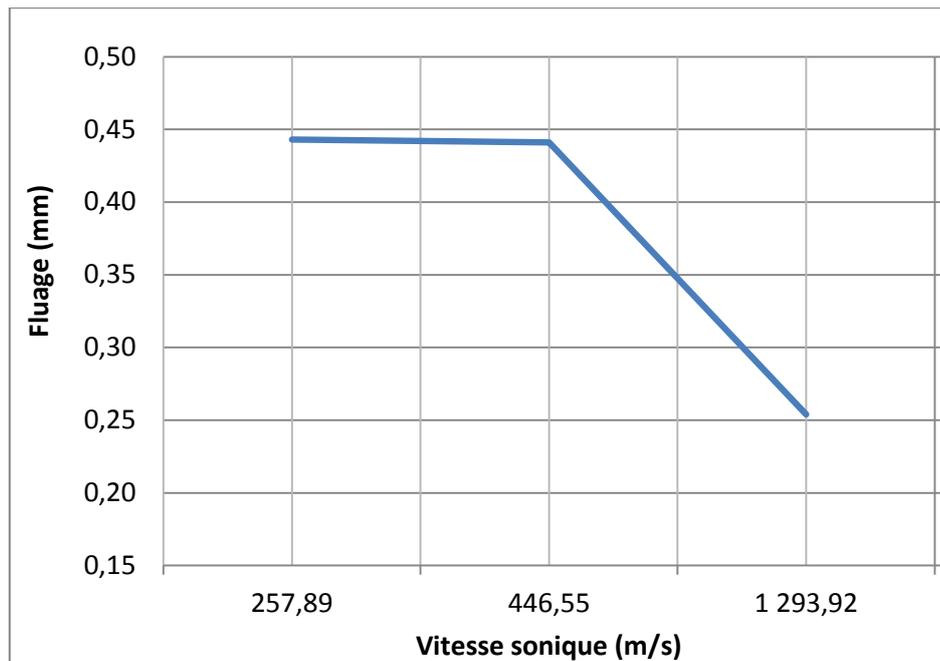


Figure (V. 9) Variation du fluage en fonction de la vitesse sonique après conservation

Nous constatons de la figure précédente, de manière globale, que plus la vitesse est élevée, plus le fluage est faible, et vice versa

De plus, le fluage mesuré reste inchangé entre les vitesses 260 et 450 m/s.

V.5 MESURE DE DENSITE PAR PARAFFINAGE

Pour connaître la densité réelle de l'échantillon, nous avons effectué le test à la paraffine selon la norme NFP 94-064 dont les résultats sont portés dans le tableau suivant :

Tableau (V. 2) 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
VOLIME PARAFFINE	16,89	18,22
VOLIME NET	52,61	53,28
DENSITE HIMIDE	1,90	1,89

Nous notons que la densité humide obtenue 1,90 et 1,89 présente des différences légères et acceptables selon la norme NFP 94-064 que la valeur de densité humide ne dépasse pas 2,7

CONCLUSION GENERALE

Notre société vit aujourd'hui dans un ensemble d'aménagements menés par des étudiants, des ingénieurs et des spécialistes dans plusieurs domaines, dont le domaine des routes, qui visent à améliorer la qualité des routes en plus du coût et de l'utilisation des matériaux locaux,

Dans notre étude, nous avons mis en évidence la possibilité d'exploiter les sables locaux et particulier les sables de Hassi Essayeh, qui ont des propriétés mécaniques et physiques acceptables.

Dans le cadre du programme pilote, des tests standardisés sont effectués dans des conditions de température bien définies. Cette recherche montre la richesse et la diversité des résultats obtenus qui nous ont permis de tirer les conclusions partielles suivantes ;

- ✓ L'Algérie, malgré l'immensité de ses zones désertiques, manque encore de normes spécifiques concernant l'utilisation des sables, notamment le sable alluvionnaire dans la technologie des sables bitumineux.
- ✓ L'utilisation de sable alluvionnaire sous forme d'enrobés bitumineux est une technique qui a prouvé son efficacité dans le passé malgré les résultats moyens obtenus en laboratoire.
- ✓ Les performances mécaniques du sable bitumineux à base de sable alluvionnaire se sont révélées relativement faibles, comme en témoignent les tests de stabilité Hubbard Field réalisés
- ✓ L'adhésion entre le sable et le bitume est relativement faible, pour cela il est recommandé d'utiliser un dope d'adhésivité ou un polymère.

Recommandations

Notre étude menée sur une composition de béton bitumineux sable moyen, qui présentait une résistance mécanique satisfaisante, a abouti aux recommandations suivantes :

- ✓ Une étude de l'évolution de la résistance mécanique avec le temps (résistance à long terme).
- ✓ D'étudier de façon suffisante d'autres types de sable locaux.
- ✓ D'exploiter le volume immense du sable locale pour améliorer les performances de notre réseau routier notamment dans le sud algérien.
- ✓ L'impossibilité d'utiliser du sable alluvionnaire seul avec du bitume dans les couches superficielles des chaussées routières.
- ✓ Nous vous recommandons de continuer à rechercher dans ce domaine et de trouver de bonnes et nouvelles solutions.

REFERENCES 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] K.N'DIAYE, (1993) étude de l'utilisation du sable-bitume en couche de base
routière, projet de fin d'étude, Ecole polytechnique de Thiès département de génie civil,
République du Sénégal.

LES ANNEXES



ANNEXE -A-
ANALYSE DES MATERIEUX
UTILISÉS

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS

NF P 18- 560
Septembre 1990

Structure: UNITE DE OUARGLA
D'INTIFICATION

Lieu de travail: SALLE

N° Dossier interne: 015/2017

Date: 08/05/2022

Classe granulaire: SABLE alluvionnaire

Opérateur: B.haythème / B. charaf eddine

Prise d'essai: 2Kg

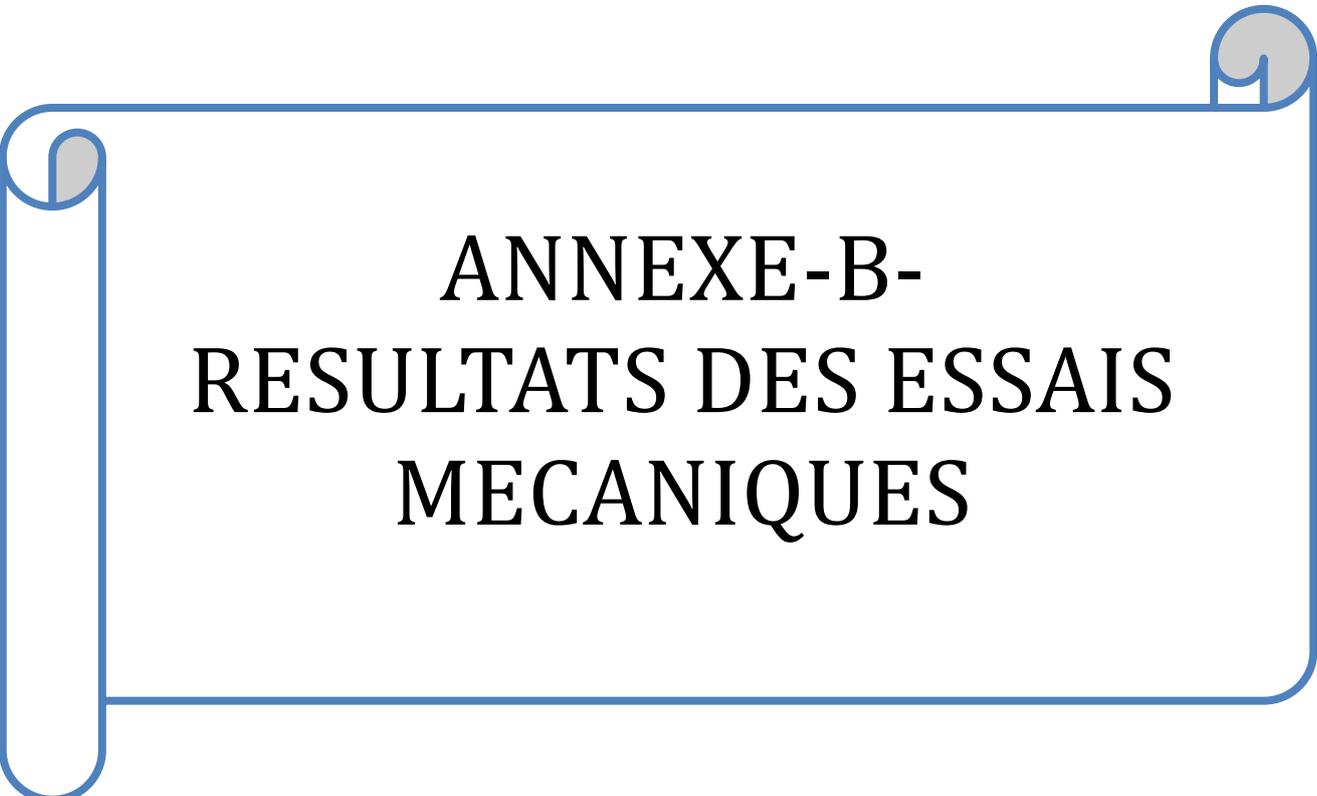
Équipements utilisés :balance et

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	/	/	/

L'opérateur
responsable

Visa du



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

FEUILLE D'ESSAI
HUBBARD-FIELD SUR MELANGES
HYDROCAROBONES
NORMES : NF P98-251-3

Structure :unité d'Ouargla

Lieu de travail : salle de biton

Date : 11 /05/2022

Echantillon :Hubbar Field

Opérateur :BOUZIANE / BOUAB

COMPOSITION		(%)
Fraction	S HS	100
Liant	40/50	5,28

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)
1	119,20	30,98	62791,19	1,898	2197,16	2197,16	Air	2197,16	2197,16	2,294	4,458	0,174	0,41
2	121,30	31,85	64554,54	1,879			Air			5,184		0,371	
3	119,60	30,98	62791,19	1,905			Air			5,897		0,680	
4	120,90	31,48	63804,61	1,895	2088,27	2088,27	40	5220,68	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			40						
7	120,00	31,25	63338,44	1,895	888,18	888,18	60	978,41	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			60						

FEUILLE D'ESSAI
HUBBARD-FIELD SUR MELANGES
HYDROCAROBONES
NORMES : NF P98-251-3

Structure : unité d'Ouargla

Lieu de travail : salle de biton

Date : 11 /05/2022

Echantillon :Hubbar Field

Opérateur :BOUZIANE / BOUAB

COMPOSITION		(%)
Fraction	S HS	100
Liant	40/50	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	2228,68	2228,68	Air	2228,68	2228,68	2,294	2,715	0,153	0,19
11	119,60	30,70	62223,68	1,922			Air			3,685		0,201	
12	121,00	30,31	61433,22	1,970			Air			2,167		0,216	
13	120,60	31,40	63642,46	1,895	2111,19	2111,19	40	2156,42	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			40						
16	120,40	31,12	63074,95	1,909	1673,80	1673,80	60	1809,25	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			60						

FEUILLE D'ESSAI
HUBBARD-FIELD SUR MELANGES
HYDROCAROBONES
NORMES : NF P98-251-3

Structure : unité d'Ouargla

Lieu de travail : salle de biton

Date : 11 /05/2022

Echantillon :Hubbar Field

Opérateur :BOUZIANE / BOUAB

COMPOSITION		(%)
Fraction	S HS	100
Liant	40/50	5,74

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)
19	121,60	31,32	63480,32	1,916	2213,77	2213,77	Air	2213,77	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			Air			2,699		0,198	
22	121,30	31,00	62831,73	1,931	2189,78	2189,78	40	2205,88	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			40						
25	121,20	31,56	63966,75	1,895	1710,32	1710,32	60	1729,12	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			60						

FEUILLE D'ESSAI
HUBBARD-FIELD SUR MELANGES
HYDROCAROBONES
NORMES : NF P98-251-3

Structure : unité d'Ouargla

Lieu de travail : salle de biton

Date : 11/05/2022

Echantillon : Hubbar Field

Opérateur : BOUZIANE / BOUAB

COMPOSITION		(%)
Fraction	S HS	100
Liant	40/50	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	2506,40	Air	2506,40	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			Air			2,876		0,177	
31	120,80	31,70	64250,51	1,880	1931,52	1931,52	40	1885,80	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			40						
34	120,90	31,56	63966,75	1,890	1662,11	1662,11	60	1735,16	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			60						

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

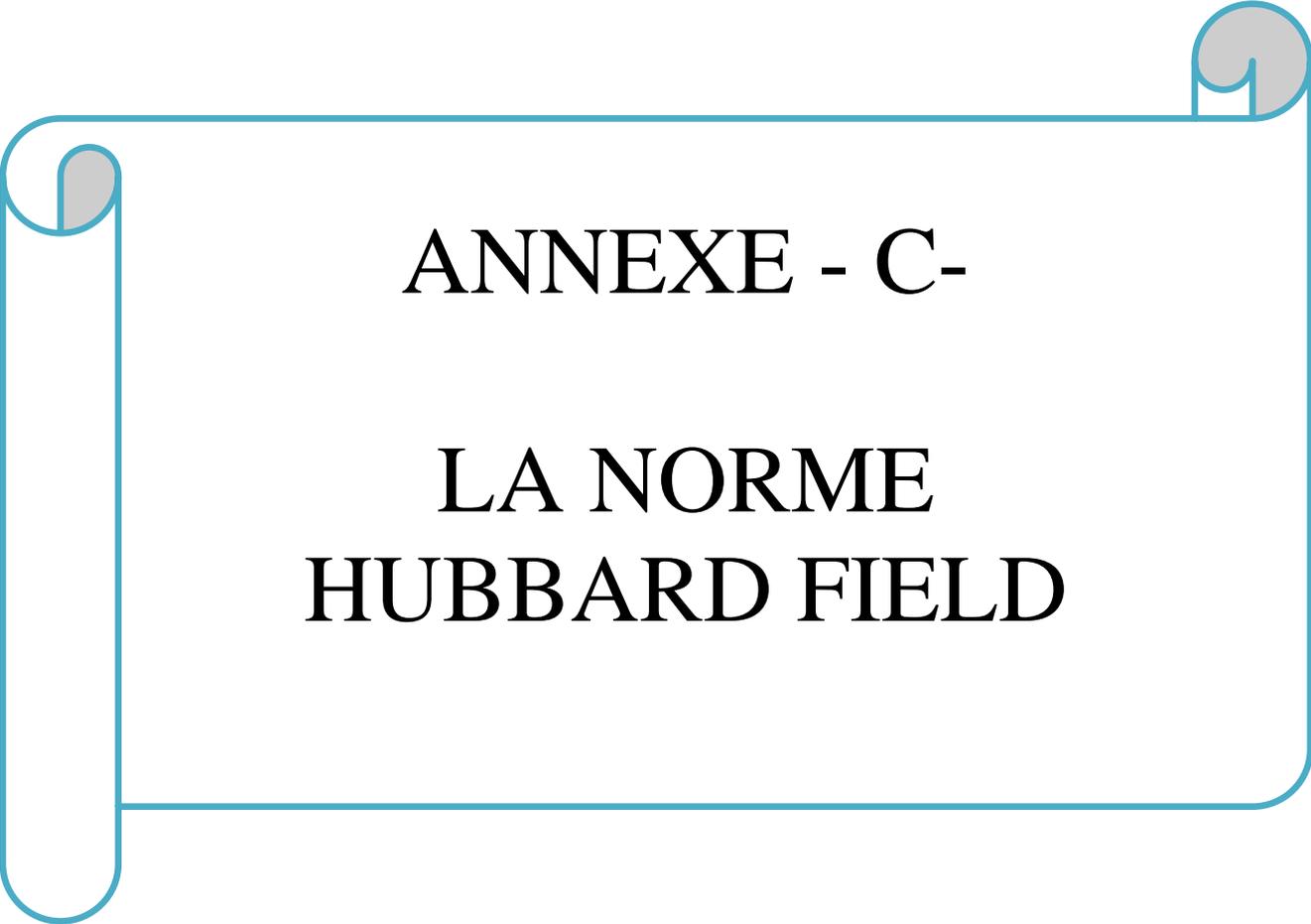
Echantillon : Hubbard Field

Opérateur : BOUZIANE / BOUAB

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 = 2,7 g/cm³ .



ANNEXE - C-

LA NORME
HUBBARD FIELD

**Essia Hubbard Field
NLT-160/73
NF P98-251-3 Août 1994**

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

1.1 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.

1.2 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

2.1 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.

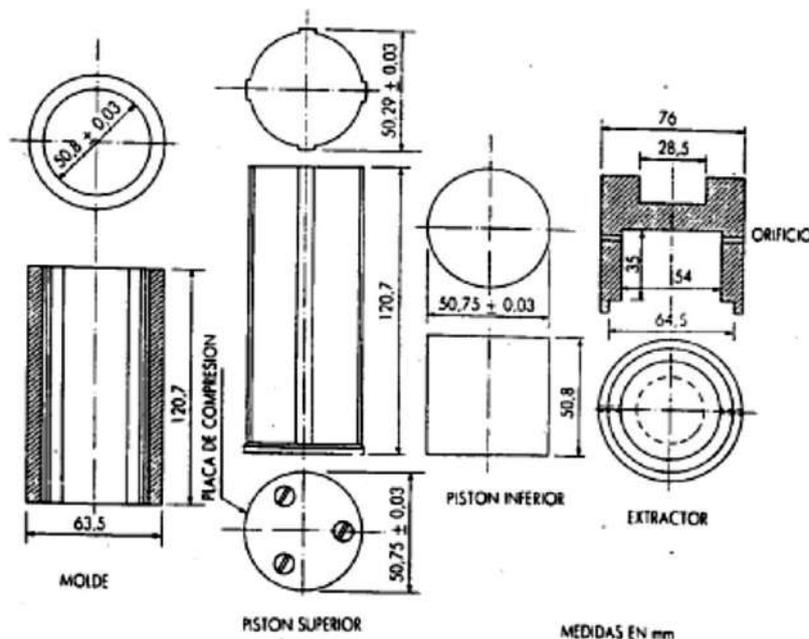
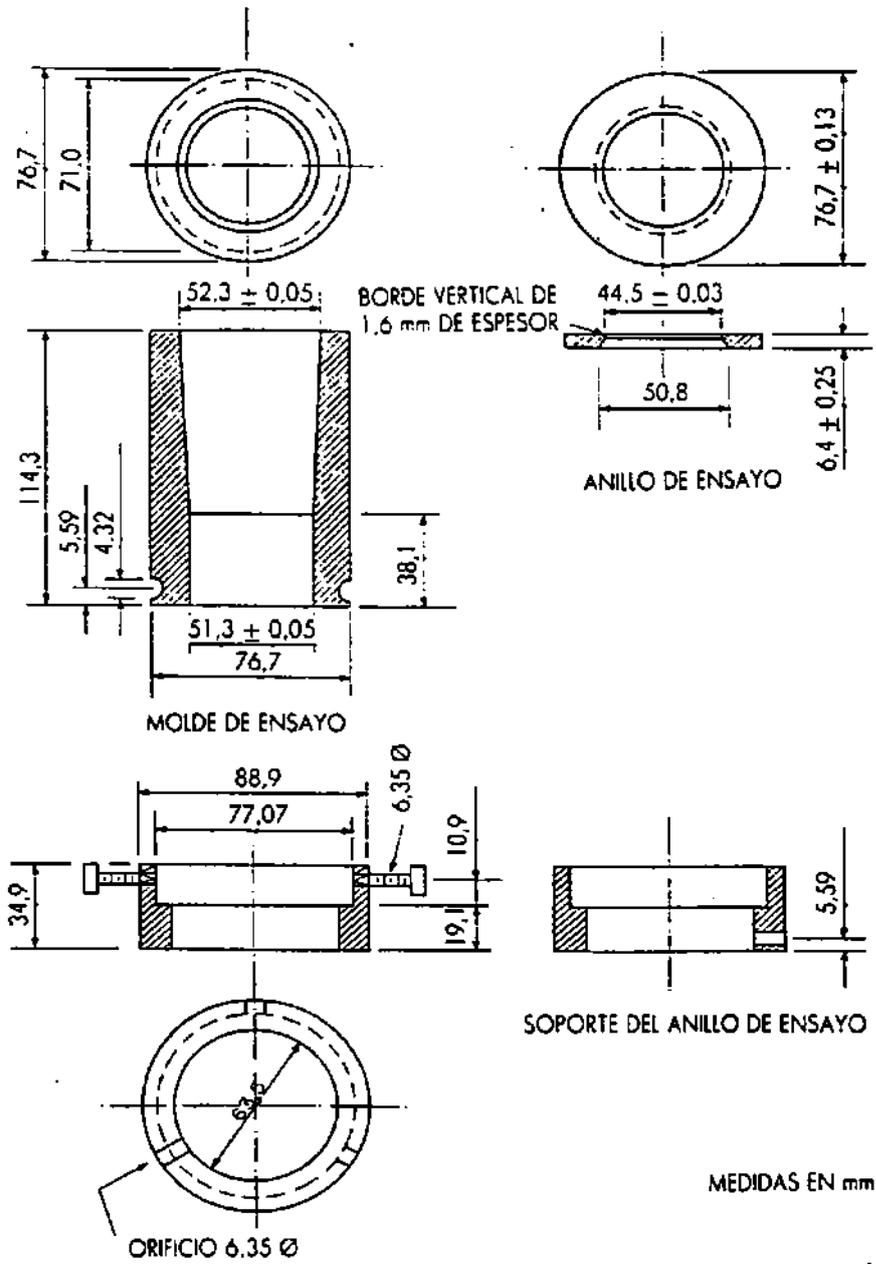


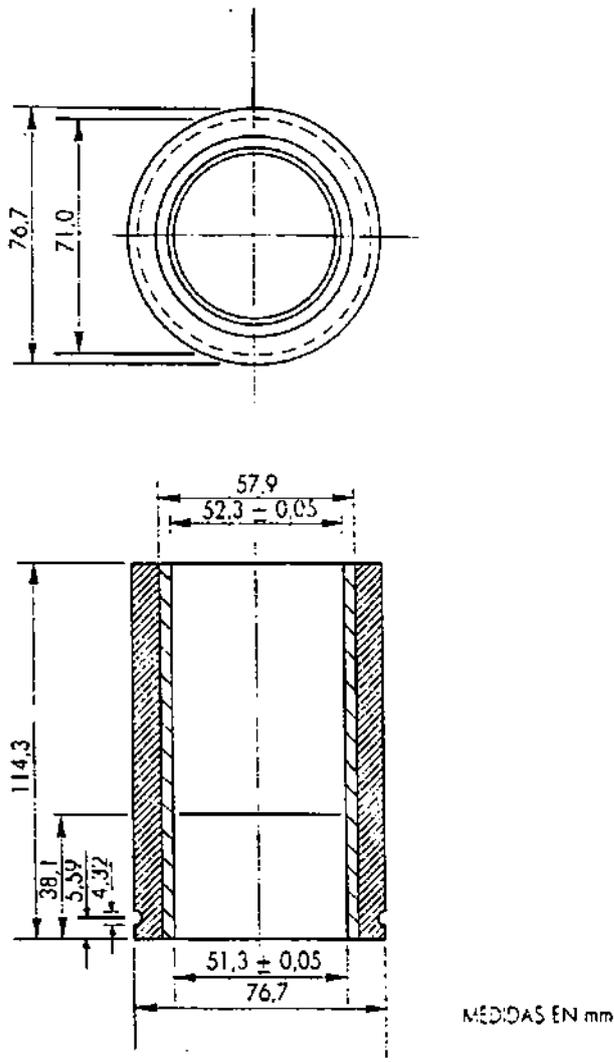
Fig. 01 : Moule, Piston et Extracteur

2.2 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.

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

2.4 Pistons supérieurs : Pistons en acier de 120,7 mm 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 0,05 mm 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 ± 0.03 mm de diamètre. Il est recommandé d'avoir au moins trois de ces pistons.





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

2.6 Moule et anneau d'essai

2.6.1 Type 1 (Fig. 2) : Un moule d'essai cylindrique de 51,3mm de diamètre intérieur $\pm 0,05$ mm 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 $52,3 \pm 0,05$ mm 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 $76,7 \pm 0,13$ mm de diamètre extérieur et de $6,4 \pm 0,25$ mm d'épaisseur, avec un trou circulaire de $44,5 \pm 0,03$ mm de diamètre d'un côté. Cet orifice aura un bord vertical de 1,6mm d'épaisseur.

Inertez 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.

2.6.2 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.

2.7 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.

2.9 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.

2.10 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.

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

2.12 Chronomètre.

2.13 Trois thermomètres de 200 °C.

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

3 MODE OPERATOIRE

3.1 Préparation des mélanges

3.1.1 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.

3.1.2 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.

3.2 Taille et compactage des éprouvettes

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

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

3.2.3 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

3.2.4 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.

3.2.5 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

3.2.6 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.

3.3 Préparation des spécimens prélevés sur la chaussée

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

3.4 Détermination de la masse volumique

3.4.1 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

3.5 Détermination de la stabilité

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

3.5.2 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 ± 1 °C. L'ensemble est placé sur la presse et la charge est appliquée à une vitesse uniforme de 61,0mm 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.

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

4 RÉSULTATS

4.1 Pour chaque échantillon testé, les informations suivantes seront incluses :

Type et proportion de liant.

Densité relative

Stabilité en newtons.

4.2 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

5.1 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

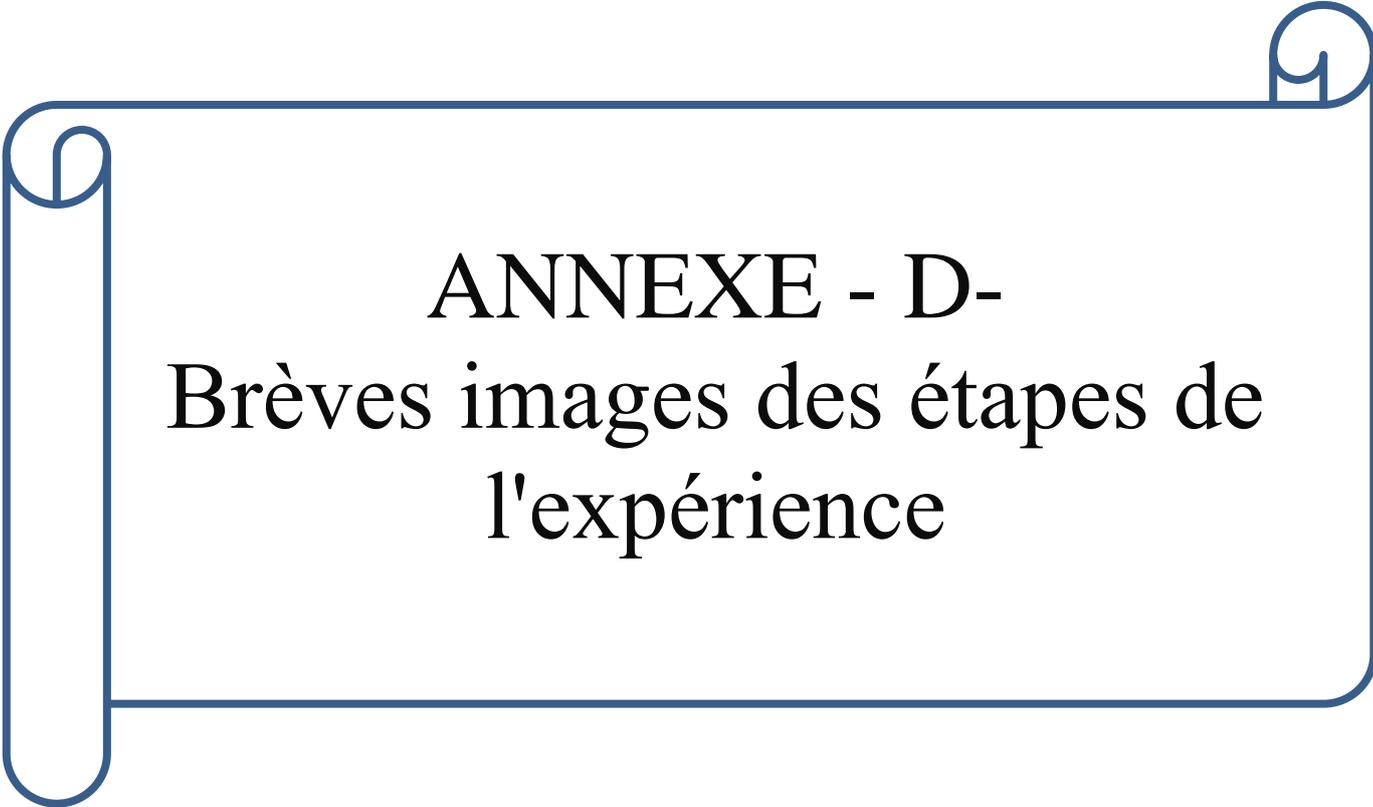
5.2 Tous les échantillons sont fabriqués et testés conformément à cette norme, les valeurs moyennes de stabilité, de densité relative et de teneur en vide sont déterminées pour chaque série, les graphiques suivants étant dessinés

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

5.3 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)

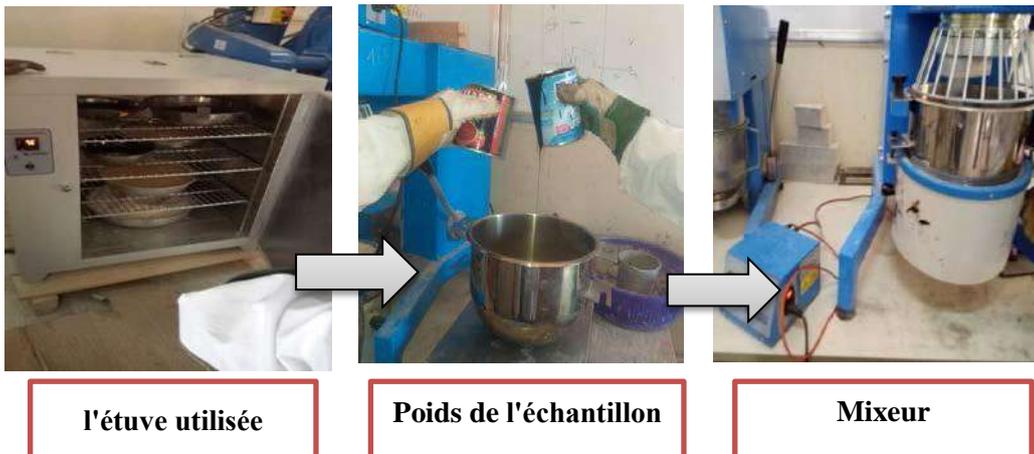
A decorative blue border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side that looks like a scroll's edge. The text is centered within this border.

ANNEXE - D-
Brèves images des étapes de
l'expérience



Appareil Hubbard Field

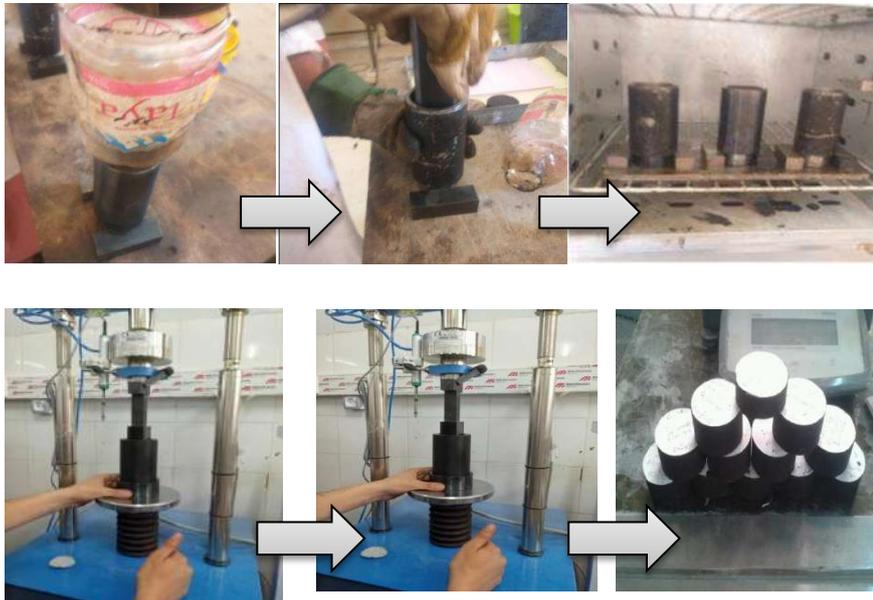
❖ **Étapes de préparation du mélange**



❖ **Préparation de moulage**



❖ Opération de démoulage



Partie 2 : la machine de ultrasonique



❖ Eprouvettes dans le bain-marie



✧ **Opération d'écrasement des éprouvettes HF**

