



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Republique Algerienne Democratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de Master Académique**

En : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'arts

Par : Salemi Abdelhafidh

Belabel Assad

Sujet

Etude expérimentale de la valorisation du sable de mine dans la formulation de béton bitumineux

Présenté et soutenu publiquement, le 14 / 06 / 2021, devant le jury composé de :

Mr Ninouh Tarek

Melle Malaoui Rachida

Mr Boularas Saïd

Professeur

MAA

MAA

Président

Rapporteur

Examineur 1

Promotion : 2020/2021

Dédicace

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le
miséricordieux de nous Avoir
donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.
Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont aidé, surtout mes parents, qui
se sont vraiment
sacrifiés pour que je réussisse ma vie, ainsi que mes études et de
m'avoir élevé dans
bonnes conditions, et je souhaiterais vraiment les satisfaire avec mon
travail qui le fruit de
mes efforts.
Je le dédie également à mes frères et ma sœur
Toute ma famille.....
A toutes mes amies
A tous les étudiants de fin d'étude de travaux publics, et n'oublié pas
mon binôme Belabel Assad
a mon encadreur Mr. Malaoui R
Merci d'être toujours à mes côtés ...

Salemi Abdelhafidh

Remerciements

Le plus grand remerciement à ALLAH, créateur de l'univers de nous avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur.

Je tiens d'abord à exprimer toute ma gratitude à mon promoteur le professeur **Malaoui R** à l'université de Tébessa pour m'avoir proposé ce sujet et suivi fidèlement mes parcours, pour ces remarques judicieuse et constructives qui ont contribuées à l'amélioration de ce mémoire, ainsi que pour ses qualité pédagogiques et l'enthousiasme communicatif dont il a su faire preuve. C'est à la fois un privilège et une expérience exceptionnelle d'avoir pu bénéficier de ses conseils qui m'ont guidé et me guideront encore les années à venir, que die le protégé.

Un grande merci qui s'adressé également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté notre travail, et qui nous feront le plaisir d'apprécier.

Nous remercions tous nos enseignant durent toute notre formation et tout le personnel administratif de l'université.

Nous remercions le responsable de laboratoire de l'université de Larbi Tbéssi **Achi Souad** et **Chaaban Halim**, pour leur aide et assistance durant le déroulement des expériences.

Merci à tous et toutes.

Liste des symboles

SONAREM : Société Nationale des Recherches Minière.

EREM : Entreprise de recherche minière.

SOFREMINES/BRGM : Société Française des Recherches Minières.

E.N.FERPHOS : Entreprise Nationale de Fer et de Phosphate.

SJ : Sable jaune

SB : Sable blanc

BB : Béton bitumineux

Es : Equivalent de sable

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

ML : Masse du bitume (g).

MA : Masse de mélange des agrégats (g)

W : Pourcentage d'imbibition (%)

K : Module de richesse.

Σ : Surface spécifique (m^2/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.

P_b : Pourcentage en poids du bitume (%).

P_s : Pourcentage en poids du sable (%).

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

V_v : Pourcentage volumétrique des vides de l'éprouvette (%).

Liste des tableaux

Titre	page
Tableau (II.1) : Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable [23]	18
Tableau (III.1) : Les différents types de BB [29]	22
Tableau (IV.1) : Masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés	34
Tableau (IV.2) : Analyse granulométrique de sable utilisés (sable jaune)	35
Tableau (IV.3) : Analyse granulométrique du sable utilisés (sable blanc)	35
Tableau (IV.4) : Analyse granulométrique des graviers utilisés	37
Tableau (IV.5) : Équivalent de sable des deux types utilisés	39
Tableau (IV.6) : Fiche technique du sable blanc	39
Tableau (IV.7) : fiche technique du sable jaune	40
Tableau (IV.8) : Caractéristiques des graviers utilisés	42
Tableau (IV.9) : Caractéristiques du bitume 40/50	43
Tableau (IV.10) : Pourcentages des agrégats utilisés (BB avec SB)	44
Tableau (IV.11) : Pourcentages des agrégats utilisés (BB avec SJ)	45
Tableau (IV.12) : Pourcentages des agrégats utilisés (BB ordinaire)	46
Tableau (IV.13) : Fuseau de spécifications 0/14	47
Tableau (IV.14) : Teneurs en bitume (BB avec SJ)	48
Tableau (IV.15) : Teneurs en bitume (BB avec SB)	48
Tableau (VI.1) : Variation de la densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume de (BB avec SJ)	64
Tableau (VI.2) : Variation de la densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume de (BB avec SB)	64
Tableau (VI.3) : Variation de la densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume de (BB ordinaires)	64
Tableau (VI.4) : Pourcentage des vides (BB avec SJ)	65
Tableau (VI.5) : Pourcentage des vides (BB avec SB)	65
Tableau (VI.6) : Pourcentage des vides (BB ordinaires)	65
Tableau (VI.7) : Variation de la compacité Marshall (BB avec SJ)	67
Tableau (VI.8) : Variation de la compacité Marshall (BB avec SB)	67
Tableau (VI.9) : Variation de la compacité Marshall (BB ordinaire)	67
Tableau (VI.10) : Variation de la stabilité Marshall (BB avec SJ)	69

Tableau (VI.11) : Variation de la stabilité Marshall (BB avec SB)	69
Tableau (VI.12) : Variation de la stabilité Marshall (BB ordinaire)	69
Tableau (VI.13) : Variation du fluage Marshall (BB avec SJ)	70
Tableau (VI.14) : Variation du fluage Marshall (BB avec SB)	70
Tableau (VI.15) : Variation du fluage Marshall (BB ordinaire)	70
Tableau (VI.16) : Variation de la Quotient Marshall (BB avec SJ)	72
Tableau (VI.17) : Variation de la Quotient Marshall (BB avec SB)	72
Tableau (VI.18) : Résultats d'essai ultrasonique pour le BB à base de sable blanc a l'état humide	73
Tableau (VI.19) : Résultats d'essai ultrasonique pour le BB à base de sable blanc a l'état sec	73
Tableau (VI.20): Résultats d'essai ultrasonique pour le BB à base de sable jaune a l'état humide	73
Tableau (VI.21): Résultats d'essai ultrasonique pour le BB à base de sable jaune a l'état sec	74
Tableau (VI.22): Résultats d'essai ultrasonique pour le BB ordinaire a l'état humide	74
Tableau (VI.23): Résultats d'essai ultrasonique pour le BB ordinaire a l'état sec	74
Tableau (VI.24) : Résultats Duriez	81

Liste des figures

Titre	page
Figure (I.1): Carte de situation géographique des gisements de phosphates de la région de Djebel Onk (D'après SO.NA.R.E.M., 1978)	8
Figure (III.1) : structure d'une chaussée	22
Figure (III.2) : Composition de béton bitumineux	24
Figure (III.3) : Pénétrömètre à aiguille	25
Figure (III.4) : principe de ramollissement	26
Figure (III.5) : forme de granulat	28
Figure (III.6) : Machine d'essai Marshall	31
Figure (III.7) : Machine d'essai Duriez	31
Figure (IV.1): Courbe granulométrique du sable jaune	37
Figure (IV.2) : Courbe granulométrique du sable blanc	37
Figure (IV.3) : Courbe granulométrique du gravier 3/8	38
Figure (IV.4) : Courbe granulométrique du gravier 8/15	39
Figure (IV.5) : Principe d'essai d'équivalent de sable	39
Figure (IV.6) : Composition granulaire (BB avec SB)	45
Figure (IV.7) : Composition granulaire (BB avec SJ)	46
Figure (V.1) : Étapes de formulation	51
Figure (V.2) : appareil de mesure en transparence (directe)	58
Figure (V.3): Principe de l'essai Marshall	60
Figure (VI.1): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (BB avec SJ)	67
Figure (VI.2): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (BB avec SB)	67
Figure (VI.3): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (BB ordinaire)	68
Figure (VI.4): Variation de la compacité en fonction de teneur en bitume (BB avec SJ)	69
Figure (VI.5): Variation de la compacité en fonction de teneur en bitume (BB avec SB)	69
Figure (VI.6): Variation de la compacité en fonction de teneur en bitume (BB ordinaire)	70
Figure (VI.7): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (BB avec SJ)	71

Figure (VI.8): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (BB avec SB)	72
Figure (VI.9): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)	72
Figure (VI.10): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (BB avec SJ)	73
Figure (VI.11): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (BB avec SB)	74
Figure (VI.12): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)	74
Figure (VI.13) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable blanc a l'état humide	78
Figure (VI.14) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable blanc a l'état sec	79
Figure (VI.15) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable jaune a l'état humide	79
Figure (VI.16) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable jaune a l'état sec	79
Figure (VI.17) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB ordinaire a l'état humide	80
Figure (VI.18) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB ordinaire a l'état sec	80
Figure (VI.19) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable blanc a l'état humide	81
Figure (VI.20) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable blanc a l'état sec	81
Figure (VI.21) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable jaune a l'état humide	82
Figure (VI.22) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable jaune a l'état sec	82
Figure (VI.23) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB ordinaire a l'état humide	83
Figure (VI.24) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB ordinaire a l'état sec	83
Figure (VI.25): Résistance à la compression après 7 jours sans immersion	84

Figure (VI.26): Résistance à la compression après 7 jours avec immersion	85
Figure (VI.27): Rapport r/R	85

Liste des photos

Titre	page
Photo (I.1) : Carrière de kef- Esnnoun	9
Photo (II.1) : Tamiseuse électrique.	15
Photo (III.1) : Gisement et carrière de la production des agrégats	26
Photo (IV.1) : La forme des grains microscopique du sable jaune	34
Photo (IV.2) : La forme des grains microscopique du sable blanc	34
Photo (IV.3) : Machine de l'essai Los Angeles	41
Photo (IV.4) : Les boules de purée de l'essai Los Angeles	41
Photo (IV.5) : Machine de l'essai micro deval en présence d'eau	42
Photo (IV.6) : La charge abrasive de l'essai micro deval en présence d'eau	42
Photo (V.1) : Etuve utilisé	51
Photo (V.2) : Malaxage utilisé	52
Photo (V.3) : Exemple d'éprouvettes Marshall	52
Photo (V.4) : Opération de compactage	53
Photo (V.5) : Les moules de l'essais Marshall	53
Photo (V.6) : Opération de démoulage	54
Photo (V.7) : Éprouvettes Duriez obtenues	54
Photo (V.8) : Opération de compactage	55
Photo (V.9) : Les moules de l'essais Deriez	56
Photo (V.10) : La préparation des éprouvettes pour l'essai ultrasonique	58
Photo (V.11) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes	58
Photo (V.12) : Le bain thermostatique	60
Photo (V.13) : Éprouvette entre les mâchoires	60

Table des matières

Dédicace	
Remerciements.....	
Liste des symboles.....	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des photos.....	
Table des matières	
Résumé : 15	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA MINE DE DJBEL EL ONK (KEF-ESSNOUN)4	
I.1.Introduction :	5
I.2.Présentation de l'entreprise :	5
I.3.Un aperçu de l'origine des phosphates :	5
I.4.Historique de Djebel EL-Onk :.....	6
I.5.Situation géographique :	7
I.5.1.Situation géographique régionale de Djebel Onk :	7
I.5.2.Situation géographique de Kef-Esnoun :	9
I.6.Stratigraphie de Kef-Esnoun :.....	9
I.7.CONCLUSION :	10
CHAPITRE II : GENERALITE ET CARACTERISATION DU SABLE	11
II.1.Introduction :.....	12
II.2.Définition :.....	12
II.3.Classification des sables :.....	12
II.3.1.Granulométrie :	12
II.3.2.Propriété :.....	12
II.3.3.Nature minéralogique :	12
II.3.4.Les différents types des sables selon leurs provenances :.....	12
II.4.Les composants du sable :.....	13
II.5.Caractéristiques principales des sables :.....	14
II.5.1.Caractéristiques géométriques :	14
II.5.1.1.Classe granulaire :.....	14
II.5.1.2.Granulométrie :	14

II.5.1.3. Module de finesse d'un sable (Mf) :	15
II.5.2. Caractéristiques physiques :	15
II.5.2.1. La Masse Volumique Apparente (NF P18-554) :	15
II.5.2.2. Masse volumique absolue :	16
II.5.2.3. Équivalent de sable :	16
II.6. Diverses utilisations du sable :	18
II.7. Sable de la zone de Kef-Essnoun :	19
CHAPITRE III : LES BETON BITUMINEUX	20
III.1. Introduction :	21
III.2. Les chaussées routières :	21
III.2.1. Couche de surface :	21
III.2.2. Rôle de la couche de surface :	21
III.3. Les bétons bitumineux :	22
III.3.1. Les types des bétons bitumineux :	22
III.3.2. Composition de béton bitumineux :	23
III.4. Généralités sur le bitume :	23
III.4.1. Différents types de bitume :	25
III.4.2. Propriétés mécaniques et rhéologiques du bitume :	25
III.5. Les Granulats :	26
III.5.1. Généralités sur les granulats routiers :	26
III.5.2. Caractéristiques et spécifications des granulats :	27
III.6. Formulation du béton bitumineux :	28
III.7. Composants minéraux :	28
III.8. La compacité :	29
III.9. Propriétés mécaniques des bétons bitumineux :	29
III.9.1. Essai Marshall (NF 98-251-2) :	29
III.9.2. Essai Duriez (NF P9-251-1) :	30
III.10. Conclusion :	31
CHAPITRE IV : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISEE	32
IV.1. Introduction :	33
IV.2. Caractéristiques des agrégats utilisés :	33
IV.2.1. Masse volumique (NF P18-301):	33
IV.2.2. La matière utilisée :	34
IV.2.3. Analyse granulométrique (NFP 18-560):	35

IV.2.4.Équivalent de sable (NF P 18-598) :	38
IV.2.5.L'Analyse chimique :	39
IV.2.6.Propreté superficielle (NF P 18-591) :	40
IV.2.7.Essai d'aplatissement (NF 18-561) :	40
IV.2.8.Essai Los Angeles (NF P 18-573) :	40
IV.2.9.Essai micro deval en présence d'eau (MDE) (NF P 18-572) :	41
IV.3.Caracteristiques du bitume utilisé :	42
IV.4.Description des différents mélanges étudiés :	43
IV.4.1.Déterminations des mélanges étudiés :	43
IV.4.2.Détermination des teneurs en bitume :	47
IV.5.Conclusion :	48
CHAPITRE V : ESSAIS REALISE ET EXPERIMENTAUX	49
V.1.Introduction :	50
V.2.Confection des éprouvettes :	50
V.2.1.Préparation des mélanges :	50
V.2.1.1.Préparation des agrégats:	51
V.2.1.2.Préparation du liant hydrocarboné :	51
V.2.1.3.Malaxage :	52
V.2.2.Confection des éprouvettes pour l'essai Marshall (NFP 98-251-2):	52
V.2.2.1.Remplissage des moules et compactage :	53
V.2.2.2.Démoulage :	53
V.2.2.3.Confection des éprouvettes pour l'essai Duriez (NFP 98-251-1):	54
V.2.2.4.Remplissage des moules et compactage :	55
V.2.2.5.moulage :	56
V.3.Essais ultrasonique (NF P 18-418) :	56
V.4.Équipements et procédures d'essais :	58
V.4.1.Essai Marshall :	58
V.4.2.Essai Duriez :	60
V.5.Détermination de la densité apparente par pesée hydrostatique :	61
V.6.Détermination de la densité absolue :	61
V.7.Détermination des vides et compacité :	62
V.8.Détermination le pourcentage d'imbibition w (%) :	62
V.9.Conclusion :	62
CHAPITRES VI : RESULTATS ET INTERPRETATION.....	63

VI.1.Introduction :	64
VI.2.Essai Marshall :	64
VI.2.1.La densité apparente et la densité absolue :	64
VI.2.2.Pourcentage des vides :	65
VI.2.3.La compacité :	67
VI.2.4.Stabilité Marshall (SM) :.....	68
VI.2.5.Fluage Marshall (FM) :	70
VI.2.6.Quotient Marshall (QM) :	72
VI.3.Essais ultrasonique (NF P 18-418) :	73
VI.4.Essai Duriez :	80
VI.4.1.Stabilité Duriez :.....	81
VI.5.Conclusion :	83
CONCLUSION GENERALE.....	84
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	87

Résumé :

L'utilisation des stériles minières en tant que matériaux pour la construction dans tous les domaines techniques est l'une des plus grandes préoccupations saisissant l'attention de nombreux pays miniers, dont l'Algérie. Comme ces matériaux sont délaissés, des solutions plus efficaces ont été faites pour compenser une partie des matériaux de construction, et pour éviter la pollution de l'environnement. Les sables des mines de gisement de Kef –Essnoun des mines de Djebel Onk sont des matériaux sédimentaires de plusieurs variétés de couches avec des épaisseurs variables et valent de loin jusqu'à plus de 500m en profondeur. Dans la zone d'activité de Kef-Essnoun, tous les sables sont de type moyen à grossier et sont déchargés et accumulés d'une énorme quantité estimée de plus de 77424250 tonnes. Cet état de ressource a une grande importance de manière à être orienter vers la domaine de travaux publics afin d'atteindre les propriétés acceptables pour cette ressource.

Ce travail a pour objet de présenté vise à utiliser des sables de mine (Kef–Essnoun) dans la formulation de béton bitumineux, a fin d'obtenir un mélange plus de stabilité et moins de fluage que le mélange de béton bitumineux ordinaire.

Cette recherche permet d'étudier la possibilité de valoriser les matériaux locaux pour réaliser du béton bitumineux, grâce à son utilisation dans la couche de roulement.

Mots clés : stériles minières - matériaux de construction - sables des mines - matériaux sédimentaires - béton bitumineux - couche de roulement.

ملخص :

يعد استخدام مخلفات المناجم كمواد بناء في جميع المجالات التقنية من أكبر الاهتمامات التي تستحوذ على اهتمام العديد من دول التعدين ، بما في ذلك الجزائر . نظراً لإهمال هذه المواد ، تم تقديم حلول أكثر فاعلية لتعويض جزء من مواد البناء ، إضافة لتجنب تلوث البيئة . إن رمال كاف سنون في مناجم جبل العنق هي مواد رسوبية من عدة أنواع من الطبقات ذات سمك متغير ويصل عمقها إلى أكثر من 500 متر تحت الأرض . في منطقة نشاط كاف سنون ، تكون جميع الرمال من النوع المتوسط إلى الخشن ويتم تفريغها وتجميعها بكميات كبيرة تقدر بأكثر من 77,424,250 طن . تعتبر حالة الموارد هذه ذات أهمية كبيرة من أجل توجيهها نحو مجال الأشغال العمومية من أجل تحقيق الخصائص المقبولة لهذا المورد .

الغرض من هذا العمل هو استخدام رمال منجم (كاف سنون) في صياغة الخرسانة الاسفلتية ، من أجل الحصول على خليط أكثر ثباتاً وأقل زحفاً من خليط الخرسانة الاسفلتية العادية .

يتيح هذا البحث دراسة إمكانية تطوير المواد المحلية لصنع الخرسانة الزفتية ، وذلك بفضل استخدامها في طبقة السير .

كلمات مفتاحية : مخلفات المناجم - مواد البناء - رمال المناجم - مواد رسوبية

- خرسانة اسفلتية - طبقة السير

Abstract :

The use of waste rock as construction material in all technical fields is one of the biggest concerns grabbing the attention of many mining countries, including Algeria. As these materials are neglected, more effective solutions have been made to compensate for part of the building materials, and to avoid pollution of the environment. The sands of the mines of the Kef – Esnnoun deposit of the Djbel Onk mines are sedimentary materials of several varieties of layers with variable thicknesses and are worth from afar up to more than 500m in depth. In the Kef-Esnnoun activity area, all sands are medium to coarse type and are discharged and accumulated with a huge estimated quantity of over 77,424,250 tonnes. This resource state is of great importance in order to be oriented towards the field of public works in order to achieve the acceptable properties for this resource.

The purpose of this work is to use mine sands (kef –Esnnoun) in the asphalt concrete formulation, in order to obtain a more stable mixture and less creep than regular asphalt concrete mix.

This research makes it possible to study the possibility of valuing local materials for make asphalt concrete, thanks to its use in the wearing course.

Key words : waste rock - construction materials - mine sands - sedimentary materials - bituminous concrete - wearing course .

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans la plupart des pays, le réseau routier représente le patrimoine le plus important qui appartient essentiellement à l'état. Chaque année, plusieurs kilomètres de rues, de routes, d'autoroutes, de pistes d'aérodromes sont construits pour accroître les échanges et désenclaver les agglomérations lointaines. Les administrations routières doivent entretenir, exploiter, améliorer, remplacer et préserver ce patrimoine tout en gérant avec soin les ressources financières et humaines qui doivent servir pour aboutir à ces objectifs.

La recherche de l'économie dans les projets, ainsi que la nécessité d'exploiter convenablement les ressources naturelles conduisent à essayer d'utiliser au mieux tous les matériaux locaux disponibles sur place.

A cet effet, les recherches devraient s'orienter vers l'utilisation de matériaux locaux, comme le sable de mine, où ils sont présents en tonnes et utilisables dans tous les domaines techniques.

Afin de valoriser ces ressources locaux et l'importance de les exploiter, le présent mémoire vise la contribution à la valorisation des sables de mine locaux dans les enrobés bitumineux.

L'objectif de notre travail consiste à substituer les agrégats entrant dans les enrobés bitumineux traditionnels (sable concassé) par les sables locaux (sable de mine de djbel el Onk). Puis de déterminer les performances mécaniques des différents mélanges de bétons bitumineux à base des sables de mine afin de déterminer l'évolution des caractéristiques de ce dernier par rapport aux spécifications d'un béton bitumineux destiné à la couche de roulement.

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 d'une présentation de la mine de djebel el Onk , leur historique et la situation de la zone de prélèvement (kef-Essnoun).

Le deuxième chapitre aborde la généralité et caractérisation des sables, nous basons sur la granulométrie, caractéristiques géométriques et caractéristiques physiques des sables. ensuite nous parlons sur les composants du sable, les différentes types des sables selon leurs provenances, classification des sables et leur diverses utilisations.

La troisième chapitre résume des généralités sur les bétons bitumineux ; définition, constitution et sollicitations engendrées, couche de surface et leur rôle ainsi que les connaissances actuelles sur les enrobés bitumineux.

La deuxième partie ; programme expérimental, comprend trois chapitres, dont le quatrième chapitre étudie la caractérisation des matériaux utilisés : sable de mine, granulats

INTRODUCTION GENERALE

usagés et bitume pour en connaître les propriétés physiques, chimiques et mécaniques, et pour déterminer les courbes des mélanges obtenus et les teneurs en bitume.

Le cinquième chapitre présente les essais et les dispositifs expérimentaux utilisés. Dans ce chapitre, premièrement, nous répondons à la question : quelle est la conception de formulation d'un béton bitumineux à base de sable de mine, deuxièmement, nous exposons les essais mécaniques utilisés dans ce travail : essai Marshall et essai Duriez ; définition, principe et déroulement de l'essai.

Le sixième et dernier chapitre nous présentons les résultats obtenus après les essais effectués sur les mélanges retenus. Les résultats sont analysés, discutés et les meilleurs résultats sont sélectionnés.

Finalement, nous concluons par des recommandations sur l'utilisation du sable de mine.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA MINE DE DJBEL EL ONK (KEF- ESSNOUN)

I.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons, tout d'abord, donner un bref sur l'origine des phosphates, historiques des recherches et les travaux effectués dans la région de Djebel Onk (kef-Esnoun). Ensuite, décrire la situation géographique, la Stratigraphie vu qu'elle est une base de tous projets miniers, qui a pour but d'étudier les parties superficielles de la terre

I.2. Présentation de l'entreprise :

FERPHOS : L'entreprise nationale du fer et du phosphate est l'une des plus importantes entreprises minières en Algérie. Dans ses activités d'exploitation des mines de phosphate, de fer et de pouzzolane, FERPHOS utilise les technologies et procédés les plus récents, recherche l'excellence, emploie les hommes qualifiés, intègres et motivés. [1]

SOMIPHOS : (Société des Mines de Phosphates Filiale) de FERPHOS group. SOMIPHOS est une société par action à capital public, détenu à 100% par FERPHOS group. Elle a pour objet la recherche, l'exploitation, le traitement, l'enrichissement, la transformation le transport et la commercialisation des phosphates et produits connexes ou analogues. Extrait le phosphate brut du sol grâce à des carrières à ciel ouvert dans le bassin Phosphatier de Djebel Onk. Le minerai est par la suite criblé, lavé et séché. Traité, est alors expédié aux Installations Portuaires de Annaba, soit par voie ferrée ou par transport routier. Le complexe du Djebel-Onk est la principale Stratégique Business Unité de FERPHOS pour la Production de phosphates. Composé de deux mines à ciel ouvert et d'une usine de traitement de phosphate, le Complexe est en phase finale de certification aux normes de L'International Standardisation Organisation, ISO 9001 Version 2000 (Système de Management de la Qualité) et ISO 14001(Système de Management Environnemental). [1]

I.3. Un aperçu de l'origine des phosphates :

La région de BIR EL-ATER de la wilaya de TEBESSA est connue par sa richesse en phosphates, ces minéraux se trouvant dans des formations d'âge géologique différentes [1]. Le dépôt des phosphates provient de la conjonction de plusieurs phénomènes. En simplifiant : à l'Éocène inférieur, la région subit une subsidence, le climat est chaud, aride, et ne permet pas la dissolution des cadavres d'animaux ; les sédiments ainsi accumulés constituent progressivement les phosphates sédimentaires sur de grandes épaisseurs. [2]

Le phosphate algérien tunisien s'est déposé dans une partie du Mésogée où il formait le bras étroit de la mer au-dessus du fleuve Tyrrhénien, s'élargissant vers le nord et vers le sud, et formant une baie profonde dans la plate-forme désertique. Cependant, l'irrégularité des conditions bathymétriques dans différentes régions de cette baie a déterminé certaines des différences biologiques qui existent dans la composition des animaux fossiles et même dans la

nature des dépôts rocheux. Ainsi, dans la zone axiale et au nord de cette mer, prédominent les formations sous-ésotériques à petits foraminifères, sans gros gisements de phosphate, tandis qu'au sud, les formations néritiques à Nummulites contiennent de grands niveaux de phosphates de chaux dure : ce sont les gisements de phosphate mou des régions de Gafsa et Djebel EL-ONK [3]

I.4. Historique de Djebel EL-Onk :

La région du Djebel Onk, est située au Nord-Ouest du Sahara Algérien. Exactement dans la région de BIR El ATER, à une 100 kilomètre de la ville de TEBESSA et à une vingtaine de kilomètres de la frontière Algéro- Tunisienne.

Les phosphates algériens ont été découverts à Boghari par Thomas (1873), un peu avant les phosphates de Gafsa (1855) [5]. Durant la période 1906-1907, M. Joleau, a découvert le gisement de Djebel Onk avec la mise en évidence de deux couches phosphatées à Djemi-Djema au sud de Djebel Onk [4]. En 1912, Dussert a présenté les premières informations sur les gisements phosphatés algériens, des coupes lithologiques détaillées des gîtes de la zone de Djebel Onk ont été effectuées [5].

La prospection systématique a débuté par « la Campagne des Phosphates de Constantine » en 1930. Cette campagne a confirmé l'existence des réserves considérables, ce qui a amené à la création de la société de Djebel Onk (S.D.O) en 1936, mais l'éloignement de la mer, la désertification de la région, le manque de l'eau et de l'énergie et les méthodes de l'exploitation reflètent une exploitation irrationnelle. Il a évalué les réserves (110 millions de tonnes de minerai à 24.80 % – 25.20 % en P_2O_5 , soit 54 – 55 % BPL) sur un total d'environ 2 milliards de tonnes de ressources dans toute la zone de Djebel Onk. [5]

A partir de 1960, dans le cadre de l'industrialisation de l'Algérie (plan de Constantine), le projet d'exploitation des phosphates est devenu prioritaire. [5]

La région de « Tébessa Sud ». Des levés radiométriques aéroportés ont été effectués sur le bassin du Djebel Onk durant la période de 1961 à 1963[4]. L'exploitation de Djemi-Djema a débuté en 1965 par la société de Djbel Onk (S.D.O), en se basant sur les données prévisionnelles de Servajeau (1965). Ces terrains ont fait l'objet de nombreux travaux, parmi les quels ceux de Kettouche (1970), Berats et Fur (1982) et Mezghache (1991). [5]

De 1985 à 1987, la Société Nationale du Fer et des Phosphates (FERPHOS) qui exploite les phosphates de Djebel Onk a confié à l'Enterprise de Recherche Minière (EREM), des travaux de recherche et d'évaluation des ressources en phosphates, de tous les gisements potentiels. Des travaux de sondages carottés ont été réalisés totalisant plus de 10732 m (97 sondages) et avec un programme réalisé de tranchées (64 tranchées). Ceci, est suivi par un contrat avec le Bureau de recherche géologique et minière (BRGM) pour le rassemblement des

éléments techniques et économiques au projet de développement de l'exploitation des gisements de phosphate de Djebel EL-Onk (Prian et Cortiel, 1993). [4]

A partir 1993, Le bassin phosphaté de Djebel Onk a fait l'objet de plusieurs recherches. Ces recherches ont été publiées en publications nationales et internationales. [6]

I.5. Situation géographique :

I.5.1. Situation géographique régionale de Djebel Onk :

La région du Djebel EL-Onk, est située au Nord-Ouest du Sahara Algérien. Précisément, à une vingtaine de kilomètres de la frontière Algéro- Tunisienne. Elle constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux constantinois et le domaine saharien.

Cette région appartient à la wilaya de Tébessa, elle est éloigné d'environ 100km, la localité la plus importante est la ville de Bir El Ater qui est le siège administratif de la région.

Le massif de Djebel Onk forme un ensemble calcaire de 20 km de longueur qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya. Les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d'environ 635m. [7]

La région de Djebel EL-Onk est subdivisée en cinq secteurs miniers:... [8]

- ✓ Gisement de Djemi Djema .
- ✓ Gisement de Kef Esnnoun .
- ✓ Gisement de Djbel Onk Nord .
- ✓ Gisement d'Oued Betita .
- ✓ Gisement de Bled El Hadba .

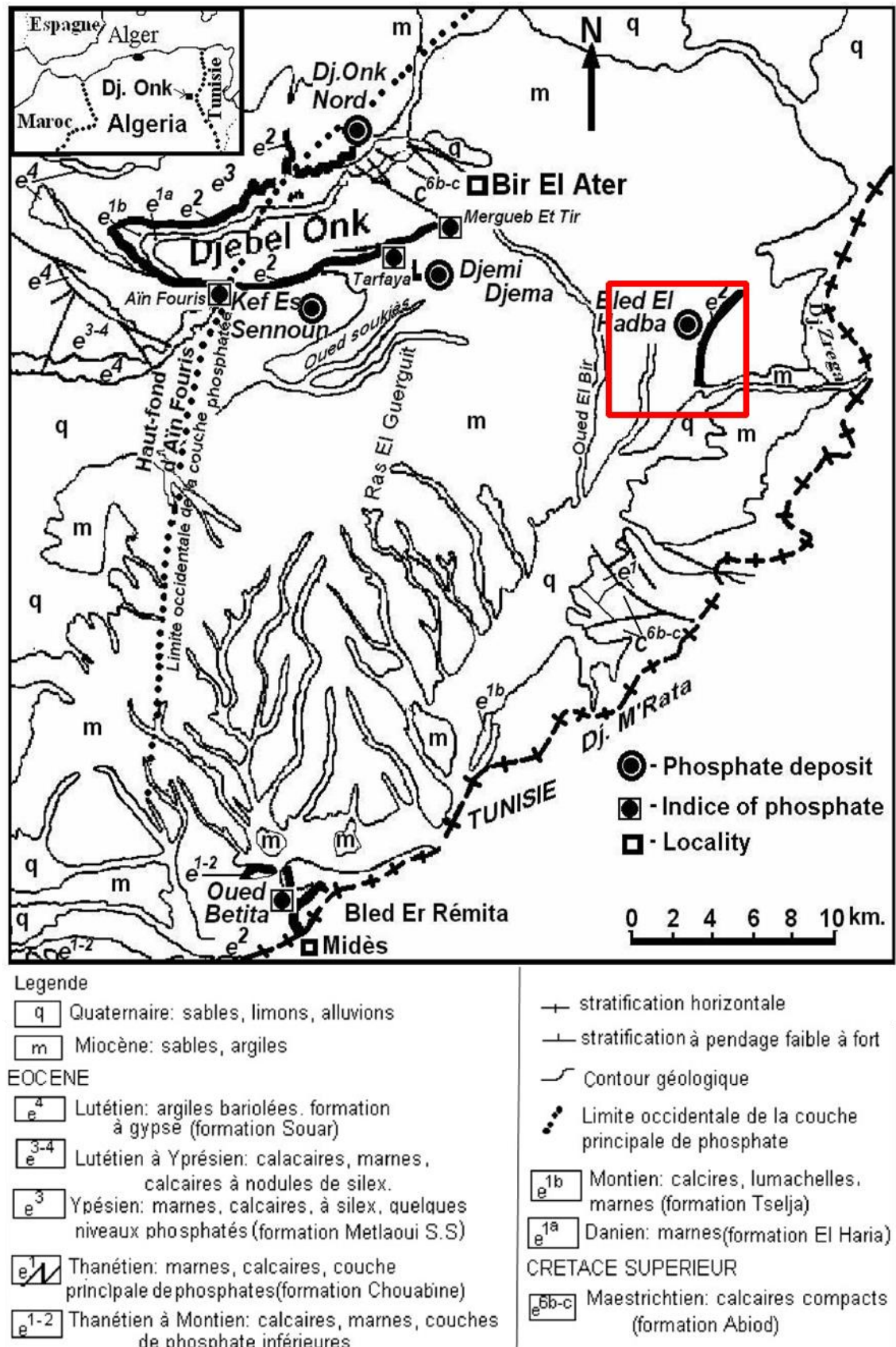


Figure (I.1): Carte de situation géographique des gisements de phosphates de la région de Djebel Onk (D'après SO.NA.R.E.M., 1978)

I.5.2. Situation géographique de Kef-Esnnoun :

Le gisement est situé à 6km au Sud de la Ville de Bir El Ater, et a 2 km à l'Ouest du gisement de Djemi-Djema.

Topographiquement, la zone du gisement, située au pied du Djebel El Onk, constitue un plateau descendant en pente douce vers le Sud-Ouest. Les cotes topographiques varient de 720 m au Sud –Ouest à 810m au Nord-Est (dressant Nord).

Le gisement est situé à environ 2 Km à l'ouest du gisement de Djemi-Djema. Il s'étend sur une longueur de 2,7 Km et une largeur de 0,8 Km, ce qui correspond à une superficie de 2.16 Km². Les altitudes sont d'environ 810 m au Nord-Est, pour 720m au Sud-Ouest. [9]



Photo (I.1) : Carrière de kef- Esnnoun

I.6. Stratigraphie de Kef-Esnnoun :

La séquence rencontrée au gisement de Kef Es-Sennoun de bas en haut est la suivante:[10]

- ✓ Calcaires blancs compacts (mæstrichtien)
- ✓ Argiles marneuses gris - foncées à vertes intercalées de marnes dures (Danien inférieur)
- ✓ Calcaires durs, blancs très fins intercalés de marnes tendres, argileuses et renfermant de minces niveaux phosphatés (Danien supérieur)
- ✓ Couche principale de phosphate gisant sur un niveau dolomitique et recouvert par une alternance de dolomies marneuses et dolomies phosphatées (thanétien supérieur), Alternance de calcaires marneuses blancs, marnes et dolomies renfermant des nodules de silex et de minces couches phosphatées surmontant un niveau conglomératique (yprésien inférieur)

- ✓ Alternance de calcaires, calcaires dolomités, marnes et marnes phosphatées. Les tous renfermant des nodules de silex (yprésien supérieur)
- ✓ Calcaires marneux blancs et marnes blanches crayeuses avec la présence de nodules de silex à la mie hauteur de la couche. Plus haut il y a du gypse (Lutétien inférieur)
- ✓ Alternance de marnes blanches, d'argilites vertes parfois phosphatées renfermant de minces bancs de calcaire et de niveaux gypseux (Lutétien supérieur)
- ✓ Formation continentale de sable quartzeux à lentilles argileuses (Miocène)
- ✓ Alluvions et éboulis de pente (quaternaire).

I.7. CONCLUSION :

Ce chapitre porte une attention particulière à la présentation et aux opérations de Somiphos. En plus de déterminer l'emplacement stratégique de la zone de Kef -Esnoun , nous avons également définir la situation géographique et la stratigraphie pour cette zone et son importance nationale.

CHAPITRE II : GENERALITE ET CARACTERISATION DU SABLE

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons donner une présentation générale sur les propriétés des différents types de sables utilisés dans notre domaine . Notamment leurs mécanismes de formation, classifications et les critères de sélection pour leurs emplois .

A la fin de ce chapitre nous mentionnons les diverses utilisations du sable avec une petite description sur le sable de la zone de Kef-Essnoun.

II.2. Définition :

On entend par sable la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 0,080 mm et 5 mm ; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30 % . [11]

II.3. Classification des sables :

On peut classer les sables selon trois paramètres dont :

II.3.1. Granulométrie :

Elle permet de séparer les sables en trois catégories [12]:

- ✓ Sables fins : plus de 75% des éléments supérieurs à 80 μ m, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.
- ✓ Sables moyens : Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 μ m sont compris entre 0,2 et 2mm
- ✓ Sables grossiers : Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 μ m sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves

II.3.2. Propreté :

La propreté d'un sable est une caractéristique déterminante par l'essai d'équivalent de sable.

II.3.3. Nature minéralogique :

En général, les sables peuvent être classés comme suit [13]:

- Sables siliceux
- Sables silico-calcaires
- Sable calcaires.

II.3.4. Les différents types des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit[14] :

- ✓ **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants.
- ✓ **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- ✓ **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- ✓ **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara .
- ✓ **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.

II.4. Les composants du sable :

➤ **Les silicates :**

Les silicates désignent une importante famille de minéraux dérivants de la silice (SiO_2) car ils constituent environ 97 % de la croûte terrestre. Ces minéraux dont le squelette est essentiellement formé par des tétraèdres de silicium [SiO_4] sont additionnés à d'autres éléments tels l'aluminium, le magnésium, le fer, le calcium, le potassium et le sodium.

- **Le silicium** : Le silicium est un corps pur de symbole chimique Si, de numéro atomique 14, de poids atomique 28,08 g/mol. Il ne se trouve jamais à l'état natif mais constitué sous forme de silice et de silicate.
- **La silice** : La silice est la forme naturelle du dioxyde de silicium (SiO_2) qui entre dans la composition de nombreux minéraux. La silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes, et combiné à d'autres oxydes (Al_2O_3 , FeO, MgO, CaO, Na_2O , K_2O , etc.) dans les silicates.
- **Les carbonates** : Les minerais de carbonate rencontrés le plus souvent dans les sols sont la Calcite CaCO_3 , la Dolomite [$\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$], la Nahcolite (NaHCO_3), la Trona [$\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \text{H}_2\text{O}$] et la Soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).
- **Les argiles** : Les argiles regroupent l'ensemble des matériaux dont les particules n'excèdent pas deux mm de diamètre équivalent. Ils correspondent à des minéraux spécifiques que l'on ne rencontre jamais en particule plus grosse. Ces minéraux sont des silicates d'aluminium hydratés, ils appartiennent à la famille des phyllo silicates qui présentent une structure cristalline en feuillet . [15]

II.5. Caractéristiques principales des sables :

Les granulats utilisés dans la construction doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Les propriétés des granulats sont liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originales et aux caractéristiques de fabrication. Le prélèvement d'un échantillon pour les caractérisations des granulats doit se faire conformément aux normes [18] et [19] relatives au prélèvement par "échantillonneur" ou par "quartage".

II.5.1. Caractéristiques géométriques :

II.5.1.1. Classe granulaire :

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur les tamis à mailles dont la dimension intérieure est exprimée en (mm).

Le terme granulat d/D est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de d pour les petits éléments à D pour les gros éléments. La norme expérimentale [20] précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles.

La norme [10] distingue quatre familles de granulats : les fillers, les sablons, les sables et les gravillons, et également quatre catégories pour les granulats naturels A, B, C et D.

- Filler 0/D pour $D < 2$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm
- Sablon 0/D pour $D < 1$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm
- Sable 0/D lorsque D est tel que : $1 \text{ mm} < D \leq 6,33 \text{ mm}$
- Graves 0/D lorsque $D > 6,3 \text{ mm}$
- Gravillons d/D lorsque $d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$
- Ballast d/D lorsque $d \geq 25 \text{ mm}$ et $D \leq 50 \text{ mm}$

II.5.1.2. Granulométrie :

Les granulats sont désignés par d et D, ou d et D représentent la plus petite et la plus grande des dimensions demandées [16]. L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupures au moyen de tamis [17]. Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique) [16]. Une bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour obtenir un mortier maniable.



Photo (II.1) : Tamiseuse électrique.

II.5.1.3. Module de finesse d'un sable (Mf) :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis. [20]

Le Module de finesse d'un sable donne par la formule suivant :

$$MF = \Sigma \text{ refus cumulée en \% de tamis}$$

Des recherches sur l'influence de la finesse des sables sur les diverses qualités du béton ont conduit à délimiter certains fuseaux de granularités admissibles.

- La partie centrale A ($2.2 < MF < 2.8$) convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limité.
- La partie centrale B ($1.8 < MF < 2.2$) est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- La partie centrale C ($2.8 < MF < 3.2$) correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistance élevées, mais on aura, en général, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

II.5.2. Caractéristiques physiques :

II.5.2.1. La Masse Volumique Apparente (NF P18-554) :

Cet essai est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient .

II.5.2.2. Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. [21]

✓ But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaire malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

✓ Conduite de l'essai :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M_s sable (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 . (Voir la figure suivante) .

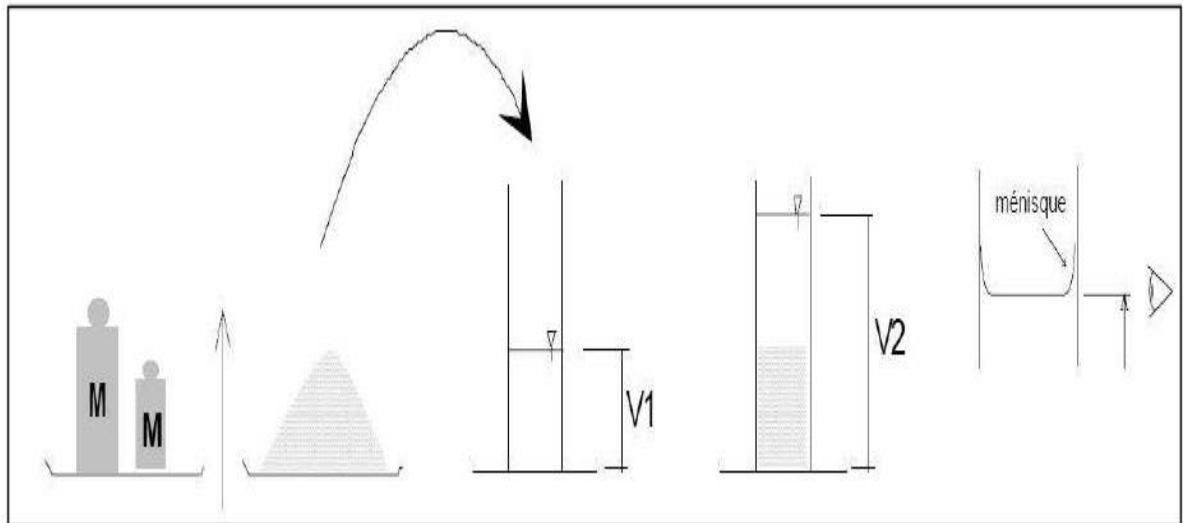


Figure (II.1) : Principe de détermination de la masse volumique absolue

II.5.2.3. Équivalent de sable :

Cet essai permet de mesurer la propreté du sable, il est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm . Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. [22]

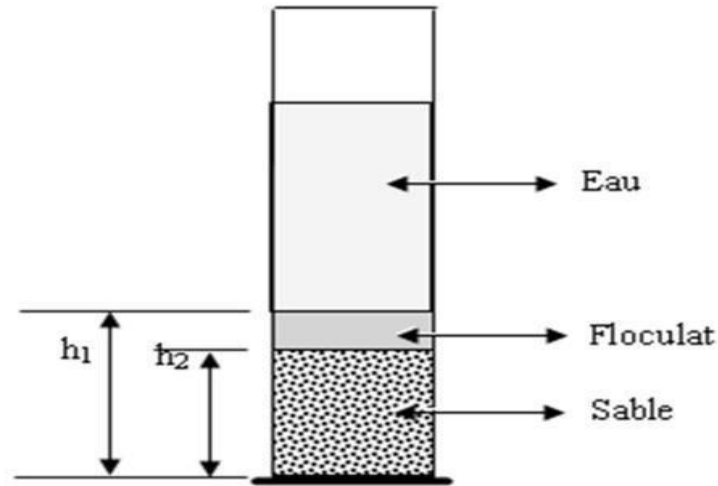


Figure (II.2) : Essai d'équivalent de sable

✓ **But de l'essai :**

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des mortiers. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

✓ **Principe de l'essai :**

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On agite une quantité de sable dans une solution lavante (eau) dans un récipient tubulaire gradué, selon un processus normalisé, puis on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h_1 : sable propre + élément fins,
- Hauteur h_2 : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable qui, par convention :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Avec :

ES : équivalent de sable ;

h_1 : hauteur du sable propre et élément fins ;

h_2 : hauteur du sable propre seulement.

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) et ES (équivalent de sable au piston)

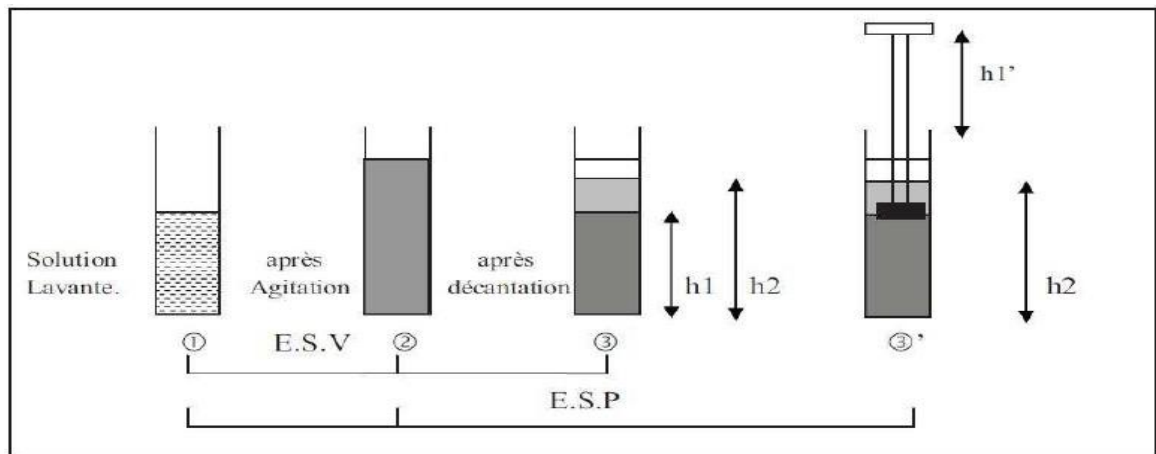


Figure (II.3) : Principe de détermination d'équivalent de sable

A partir de l'essai équivalent sable ES, il est possible selon le résultat obtenu, de catégoriser le sable selon état de propreté (sa qualité) et donc d'en définir les possibles applications telles que montrées dans le tableau.

Tableau (II.1) : Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable [23]

E.S à vue	E.S	Nature et qualité du sable
$E.S.V < 65$	$E.S < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement, problème d'adhérence, à rejeter pour les bétons de qualité.
$65 \leq E.S.V < 75$	$60 \leq E.S < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
$75 \leq E.S.V < 85$	$70 \leq E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant Parfaitement pour des bétons de haute qualité (valeur optimale $E.S = 75$, $E.S.V = 80$).
$E.S.V \geq 85$	$E.S \geq 80$	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II.6. Diverses utilisations du sable :

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique : remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie ; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires ; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou « sables noirs », sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane-métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels : érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée ; destruction à terre de la nappe phréatique. [24]

II.7. Sable de la zone de Kef-Essnoun :

Les sables sont hétérogènes et hétéro granulaires dans leur ensemble. Ils forment des couches à stratification entrecroisée très nette et où l'on note un certain granulo-classement. Dans la partie inférieure, les sables sont grossiers, mais très vite ils passent à des sables fins à moyens blanchâtres non calcaireux. Ces sables sont intercalés de bancs de grés stratiformes et irréguliers centimétriques.

Localement on peut observer des affleurements de sable fin de couleur beige, jaune ou blanc jaunâtre. Ces sables se localisent surtout vers l'Ouest et l'Est du secteur. Dans la zone d'activité de Kef-Essnoun . Tous les sables rencontrés sont de type moyen à grossier avec des niveaux plus fins. Ce sont des sables quartzeux blancs à transparent formant des couches à stratification entrecroisée.

CHAPITRE III : LES BETON BITUMINEUX

III.1.Introduction :

Chaque type d'enrobé est définie : premièrement par sa nature et le dosage de ses composants, deuxièmement par ses performances particulières et troisièmement par la couche de la chaussée à laquelle il est destiné.

Dans le présent chapitre, nous allons parler des généralités sur les chaussées , nous allons discuter à propos de couche de surface ; et de définir sa rôle

Ensuite, nous étudions la formulation de l'enrobé en considérant les paramètres suivant: la teneur du bitume, la dureté du bitume et la grosseur des granulats, qui ont des influences sur la compacité, la mise en œuvre et la durabilité..., ainsi que les principaux essais de caractérisation selon les normes pour obtenir un enrobé selon le choix désiré.

III.2.Les chaussées routières :

La chaussée est la partie d'une voie de communication 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 une 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 le revêtement [26].

III.2.1. Couche de surface :

Elle est composée de la couche de liaison et de la couche de surface sur la quelle s'appliquent

Directement les charges. Elle doit satisfaire la sécurité et le confort des usagers, protégé la couche d'assise des différentes infiltrations (eaux, pluviales, polluants,..) [26].



Figure (III.1) : structure d'une chaussée

III.2.2. Rôle de la couche de surface :

La couche de roulement est la couche superficielle des chaussées. C'est la couche la plus sollicitée puisqu'elle subit directement les agressions du trafic et des intempéries. Elle doit par conséquent absorber la majeure partie des efforts horizontaux et verticaux .

D'autre part, elle doit garantir une bonne adhérence et une bonne régularité superficielle afin d'éviter les secousses brutales et les vibrations excessives et d'assurer ainsi la sécurité routière. Sa rugosité doit être suffisamment bonne pour conférer à la chaussée des propriétés antidérapantes. Ces propriétés doivent être d'autant meilleures que la vitesse de roulement est élevée. Elle contribue enfin largement à la protection des couches d'assise contre la pénétration des eaux grâce à sa fonction d'étanchéité.

Ainsi, le dimensionnement et le mélange utilisé pour la réalisation des couches de roulement, doivent tenir compte des effets du trafic sur le revêtement qui peuvent se manifester par des détériorations produites suite à l'accumulation de déformations plastiques dues à l'application répétée des charges de trafic; en particulier dans des conditions de hautes températures ou de faibles vitesses d'application de change.

Les effets climatiques tels que l'eau, l'air, la lumière, la température ainsi que les agents chimiques, quant à eux, contribuent au vieillissement rapide du revêtement [27].

III.3. Les bétons bitumineux :

Également appelé enrobé ou enrobé bitumineux, Le béton bitumineux est un mélange, parfaitement contrôlé et de haute qualité ,réalisé à chaud. Il est constitué de sable, de gravillons, de filer et de bitume comme liant. Il doit être bien compacté en une masse uniforme et dense[28].

III.3.1. Les types des bétons bitumineux :

Il existe plusieurs types de béton bitumineux, en fonction de l'utilisation que l'on souhaite en faire. Le tableau ci-dessous récapitule les différentes sortes de BB :

Tableau (III.1) : Les différentes types de BB [29]

Appellations abrégées de bétons bitumineux	Caractéristiques	Exemples d'utilisation
BBSG : bétons bitumineux semi-grenus	Couches allant de 5 à 10 cm.	Utilisation fréquente en trafic réduit
BBME : bétons bitumineux à modules élevés	Empêche les problèmes d'ornièrè.	
BBS : bétons bitumineux souples	Résistance élevée face aux efforts.	
BBM : bétons bitumineux minces	Excellente adhérence. Imperméabilise la chaussée.	Utilisation fréquente pour routes nationales.
BBDR : bétons bitumineux drainants	Excellente adhérence. Baisse significative du bruit de roulement. Excellente adhérence par temps de pluie	Utilisation fréquente pour Autoroute, Voies express, ...etc.
BBTM : bétons bitumineux très minces	Couche de 2 à 3 cm	Chaussée à trafic important et rapide

D'autres aspects seront étudiés avant le choix du BB : le climat de la région sera pris en compte pour le choix du futur revêtement :

- le bitume utilisé peut se ramollir si la chaleur est trop forte
- le béton peut durcir par trop basses températures
- la pluie ou la neige tassée sont également des critères à prendre en compte, car le BB peut geler et favoriser la formation de verglas.

III.3.2. Composition de béton bitumineux :

Le béton bitumineux est composé de différents éléments :

- Gravillons.
- Sable.
- bitume utilisé comme liant hydrocarboné.
- Filer.



Figure (III.2) : Composition de béton bitumineux

III.4. Généralités sur le bitume :

Le bitume considéré dans tout ce travail est un bitume de pétrole, fraction la plus lourde du raffinage de pétrole brut, par opposition au bitume naturel issu des roches. Le bitume est, selon sa définition, la plus classique un ensemble de produits organiques naturels, riches en carbone et en hydrogène, fusibles, combustibles et solubles dans le sulfure de carbone. Sa composition chimique et sa réponse aux sollicitations mécaniques sont complexes. Son utilisation en technique routière est largement justifiée par ses qualités d'agglomérant à haut pouvoir adhésif, surtout sur les minéraux.

Du fait de sa complexité, la composition chimique du bitume n'est jamais réellement définie. Il n'existe pas un seul bitume mais de nombreux bitumes différents. Le mode de raffinage et l'origine du brut pétrolier influent largement sur la composition chimique du matériau. Le bitume au singulier sera employé en terme générique et ce même mot sera employé au pluriel dans le cas d'une classification de divers bitumes selon leur grade ou leur origine. Par ailleurs, le terme liant bitumineux, par opposition aux bitumes purs, regroupe l'ensemble des bitumes purs qui ont été modifiés, fluxés ou fluidifiés[30].

Ne pouvant être caractérisé d'un point de vue chimique, le bitume pur est défini par deux paramètres décrivant sa consistance :

➤ **La pénétrabilité à l'aiguille** : est une méthode de détermination de la consistance des bitumes et des liants bitumineux à 25°C. La pénétrabilité d'un liant bitumineux est « la consistance exprimée comme l'enfoncement, en dixièmes de millimètre (noté dmm), correspondant à la pénétration verticale d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai du matériau, dans des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge»[31].

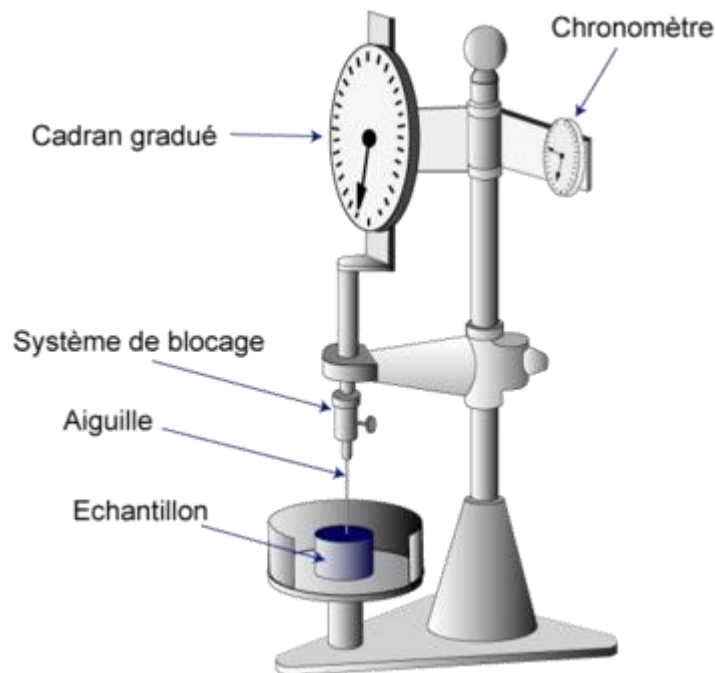


Figure (III.3) : Pénétromètre à aiguille

➤ **La température de ramollissement bille-anneau** : représente « la température à laquelle le matériau atteint une certaine consistance » [32]. Les températures bille-anneau varient entre 30 et 150°C. Le bitume à sa température bille-anneau, n'est pas considéré comme liquide, mais il est suffisamment fluide pour permettre son écoulement.

La pénétrabilité et la température bille-anneau varient en sens contraire. Une mesure supplémentaire, « la détermination du point Frass », permet de déterminer le comportement du bitume aux faibles températures. Il s'agit de « la température, exprimée en degrés Celsius, à laquelle un film de liant bitumineux d'une épaisseur donnée et uniforme se fissure sous des conditions de charge définies » [33]. Cette température, inférieure à 0°C, est directement corrélée au comportement à froid de l'enrobé. Des problèmes de répétabilité ont été constatés avec les bitumes modifiés aux polymères, notamment les bitumes fortement modifiés aux élastomères pour lesquels l'échantillonnage est délicat.

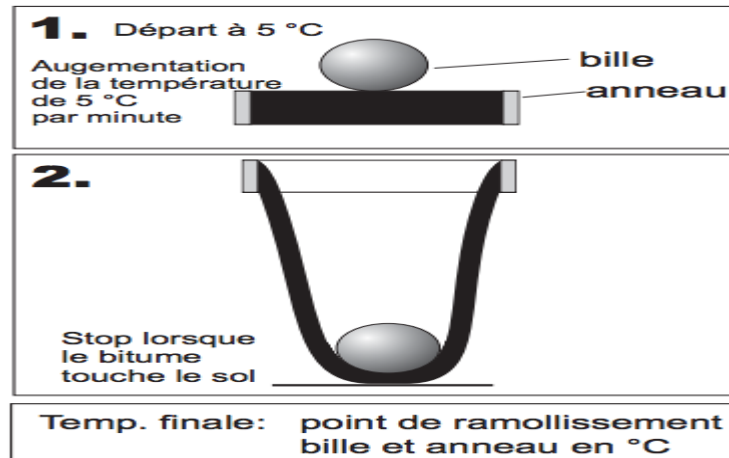


Figure (III.4) : principe de ramollissement

III.4.1. Différents types de bitume :

Le bitume utilisé dans les enrobés confère des propriétés viscoélastiques aux revêtements de chaussées. Un bitume ayant les caractéristiques appropriées assure des performances élevées sur le plan de la résistance à l'orniérage, à la fissuration thermique, à la fissuration de fatigue et à l'arrachement ; ces caractéristiques contribuent à la réalisation de revêtements sécuritaires, durables et économiques. Les types suivants de liants à base de bitume sont : [29]

- Les bitumes purs.
- Les cut-backs.
- Les bitumes fluxés.
- Les bitumes composés.
- Les bitumes modifiés.
- Les émulsions de bitume.

III.4.2. Propriétés mécaniques et rhéologiques du bitume :

Le bitume confère à l'enrobé sa flexibilité et sa capacité à résister à certaines dégradations causées par plusieurs facteurs dont le trafic, les conditions climatiques du site, etc. A température de service élevée, le bitume doit demeurer suffisamment visqueux afin d'éviter que ne se produise le phénomène d'orniérage. A l'opposé, à basse température, le bitume doit conserver une certaine élasticité pour éviter le phénomène de fissuration par retrait thermique et la fragilisation de l'enrobé. Aux températures intermédiaires, il doit être résistant à la fatigue sous l'effet du trafic répété [29].

III.5. Les Granulats :

Les granulats proviennent de carrières où les roches massives sont concassées, les granulats sont répartis en différentes classes granulaires normées qui sont définies par le diamètre minimal et le diamètre maximal du granulats [34].

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

- La résistance à la fragmentation par les essais Los Angeles.
- La résistance à l'usure et à l'attrition par l'essai Micro Deval humide.



Photo (III.1) : Gisement et carrière de la production des agrégats

III.5.1. Généralités sur les granulats routiers :

Généralement, les granulats destinés à la fabrication des bétons bitumineux peuvent avoir des origines différentes :

- Carrières de roches massives.
- Carrières de matériaux alluvionnaires (ballastières).

La fabrication des granulats est assurée par des installations de concassage-criblage dont la taille et la nature des différents composants varient selon l'importance des chantiers et la nature des matériaux bruts à traiter.

L'assemblage et le nombre de ces différents équipements est défini par la nature et les caractéristiques des granulats à produire, la nature du matériau brut à traiter.

Les installations de production de granulats concassés varient en fonction de la nature de la roche exploitée et du débouché commercial des granulats produits qui couvre une large gamme : 0/3, 3/8, 8/15, 15/25, 25/40 [35].

III.5.2. Caractéristiques et spécifications des granulats :

- **Forme :**

La forme d'un granulat est caractérisée par le coefficient d'aplatissement (CA) qui représente le pourcentage d'éléments tels que $G/E > 1,58$ avec :

G : grosseur du granulat

E: épaisseur du granulat

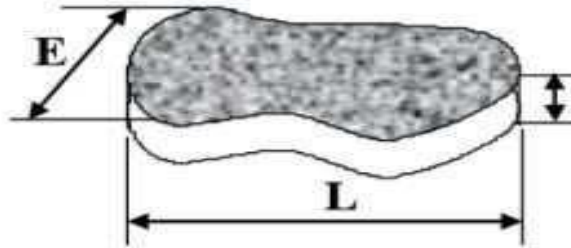


Figure (III.5) : forme de granulat

En pratique, l'essai consiste à fractionner un échantillon du matériau à tester au moyen d'une série de tamis et de passer le retenu de chaque tamis dans une grille à fentes parallèles. On détermine ensuite la masse des passants par chaque grille. Le coefficient d'aplatissement est alors calculé par la formule :

$$CA = \sum m_i / M$$

Où

m_i : masse des passants à la grille i

M : masse de l'échantillon soumis à l'essai

- **Dureté :**

Elle est caractérisée par deux coefficients :

- ✓ Coefficient Los Angeles (LA) :

Il caractérise la résistance aux chocs des granulats. l'essai consiste à faire subir à un échantillon de granulats une série de chocs avec des boulets en acier de nuance Z 30 C13, de 47 mm de diamètre et d'un poids de 420 à 445 g, et de déterminer la quantité de fines (éléments <1,6 mm) qui se sont produites au cours de l'essai. Le coefficient Los Angeles est calculé selon la formule suivante :

$$LA = (m / M) \times 100$$

où

m : la masse des fines produites au cours de l'essai

M : la masse initiale de l'échantillon ($M = 5000g$)

- ✓ Coefficient micro Deval humide (MDE) :

Il caractérise la résistance à l'usure des granulats. L'essai consiste à faire subir à un échantillon de granulat de masse $M = 500$ g, un total de 12 000 tours dans un cylindre en acier en présence d'une charge abrasive et de l'eau. La charge abrasive est constituée de 2 à 4 Kg de billes de diamètre 10 mm, en acier inox de nuance Z 30 C13. Après essai, on procède à la détermination de la masse des fines (éléments $< 1,6$ mm) qui se sont produites au cours de l'essai. Le coefficient MDE est calculé par la formule suivante :

$$MDE = (m/M) \times 100$$

où

m : la masse des fines produites au cours de l'essai

M : la masse initiale de l'échantillon ($M = 500$ g)

- Propreté :

Elle est appréciée par les essais d'équivalent de sable :

cette essai Consiste à faire flocculer les particules fines contenues dans un échantillon de sable au moyen d'une solution lavante et de mesurer, après un temps de repos, la hauteur du sable sédimenté (h) et la hauteur totale sédimentée du sable et du flocculat (h'). L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$ES = (h / h') \times 100$$

III.6. Formulation du béton bitumineux :

Formuler un enrobé hydrocarboné est déterminer le meilleur mélange de granulats de diverses dimensions et d'un liant (le bitume) permettant d'atteindre des performances visées: imperméabilité, rugosité, résistance mécanique (à l'orniérage et la fatigue). Donc l'objectif de formulation est de déterminer un mélange de différentes classes granulaires qui constitue un squelette granulaire ayant un pourcentage de vides ni trop faible ni trop élevé. Un faible pourcentage de vide empêche l'introduction d'une quantité du liant suffisante pour enrober l'ensemble des grains sans saturer le mélange, et un pourcentage de vides élevé favorise le développement des déformations permanentes par post-compaction. Une étude de formulation d'un enrobé bitumineux comporte deux phases principales, à savoir la composition granulométrique et le dosage en liant optimale à l'aide des résultats de l'essai Marshall [29].

III.7. Composants minéraux :

Les composants minéraux constituent environ 95% de la masse d'un enrobé bitumineux (80-85% du volume). Cette prépondérance des matériaux granulaires dans le mélange a une influence sur les caractéristiques mécaniques et sur les performances du matériau bitumineux. Les granulats sont l'ensemble des sables, gravillons ou pierres concassées qui proviennent du creusement d'un gisement ou d'une extraction à partir d'une roche mère compacte. Les

granulats sont utilisés soit comme matériaux en vrac, soit après transformations (criblage, concassage, tamisage, dépoussiérage, lavage...). Les granulats sont désignés par d et D , qui représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions demandées[29].

III.8.La compacité :

La compacité "C" est une conséquence directe de la formulation : [26]

$$\text{Compacité \%} = 100 - V \%$$

Pour ce calcul, il faut connaître la densité apparente de l'éprouvette, la densité du bitume, la densité de chacun des agrégats, les pourcentages en poids de chacun des constituants rapportés à 100(liant et filler compris). Soit : γ_{app} : la densité apparente de l'éprouvette; γ_b : la densité du bitume ; γ_{G1} : la densité de l'agrégat 1; γ_{G2} , γ_{G3} ,...celles des agrégats 2, 3...etc
 P_b : le pourcentage en poids du bitume;

P_{G1} , P_{G2} , P_{G3} ...ceux des agrégats.

Donc la densité réelle γ_{rel} du matériau enrobé est:

$$\gamma_{rel} = 100 / (P_b / \gamma_b) + (P_{G1} / \gamma_{G1}) + (P_{G2} / \gamma_{G2}) + \dots$$

Le pourcentage volumétrique des vides V_v de l'éprouvette est:

$$V_v = 100 / (\gamma_{rel} - \gamma_{app}) / \gamma_{rel}$$

III.9.Propriétés mécaniques des bétons bitumineux :

Pour connaître les propriétés mécaniques d'un enrobé bitumineux ; on fait un essai ou le plus souvent une série d'essais normalisés .

III.9.1. Essai Marshall (NF 98-251-2) :

L'essai Marshall est un essai destructif, effectué en laboratoire selon un mode opératoire bien précis

L'essai permet de déterminer pour une température et une énergie de compactage données le "pourcentage de vides", la "stabilité" et le "fluage" dits Marshall d'un mélange hydrocarboné à chaud.

✓ **Domaine d'application :**

L'essai s'applique aux mélanges hydrocarbonés à chaud fabriqués en laboratoire ou prélevés sur chantier (grave bitume, béton bitumineux, et autres mélanges hydrocarbonés à chaud).

✓ **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à compacter des éprouvettes d'enrobés par damage dans un moule cylindrique de 101,6 mm de diamètre à l'aide de chocs (cinquante coups par face) produits par la chute d'une dame de poids normalisé tombant d'une hauteur bien définie selon un procédé opératoire déterminé, puis à les soumettre à un essai de compression suivant une génératrice

dans des conditions bien définies. Sur les éprouvettes ainsi confectionnées, on détermine entre autre :

- La stabilité Marshall : C'est la résistance à l'écrasement de l'éprouvette à la température de 60°C.
- Le fluage Marshall: C'est l'affaissement de la même éprouvette au moment de la rupture.



Figure (III.6) : Machine d'essai Marshall

III.9.2. Essai Duriez (NF P9-251-1) :

Cet essai est réalisé sur une éprouvette cylindrique d'enrobé bitumineux de poids et de section bien déterminés. Celle-ci est soumise à une compression statique.

Les éprouvettes ainsi confectionnées sont conservées :

- Les unes à 18°C pendant une durée de sept jours dans l'air
- Les autres à 18°C pendant une durée de sept jours dans l'eau.

Les éprouvettes sont écrasées à 18°C au huitième jour et l'on obtient:

- La résistance des éprouvettes conservées à l'air pendant une durée de sept jours **R**
- La résistance des éprouvettes conservées dans l'eau pendant une durée de sept jours **r**
- Le rapport **r/R** appelé "*rapport d'immersion/compression*" traduit en quelque sorte la tenue à l'eau de l'enrobé bitumineux. C'est un moyen pour apprécier d'une façon indirecte l'adhésivité du bitume aux granulats.



Figure (III.7) : Machine d'essai Duriez

III.10. 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.

L'enrobé bitumineux est ainsi soumis à des températures et des fréquences de sollicitation variables dans le temps. Les conditions de sollicitation vont également varier en fonction de la structure de la chaussée mise en œuvre et de l'emplacement considéré. Le comportement d'un enrobé bitumineux au sein d'une chaussée est donc fort complexe puisqu'il dépend à la fois de la température et des charges qui lui sont appliquées par les véhicules, ainsi que les conditions météorologiques des lieux d'emplacement des routes.

CHAPITRE IV : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISEE

IV.1.Introduction :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les matériaux utilisés dans le cadre de cette étude et les diverses techniques qui ont servi à fabriquer et à caractériser les bétons bitumineux a base de sables de dune.

Donc dans ce chapitre, nous allons exposer les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition de béton bitumineux a base de sable de mine , à savoir :

- ✓ La masse volumique ;
- ✓ La granulométrie ;
- ✓ La composition chimique;
- ✓ Équivalent de sable...etc.

Puis, nous présentons les mélanges choisis dans cette étude par la détermination de distribution granulométrique de chaque mélange choisi et les dosages de bitume supposés.

IV.2.Caractéristiques des agrégats utilises :

Dans notre étude nous avons utilisé le sable de mine de la zone Kef-Esnnoun Djebel Onk de la région de BIR El-ATER de la wilaya de TEBESSA et gravier de la région de MORSOT de la wilaya de TEBESSA.

IV.2.1.Masse volumique (NF P18-301):

- ✓ Masse volumique absolue :

Est la masse par unité du volume de la matière qui constitue le sable, sans tenir compte des vides qui peuvent prendre place entre les grains .La formule qui permet de calculer ce paramètre est :

$$\gamma_s = \frac{M}{V_s}$$

Tels que:

γ_s : La masse volumique absolue (g/cm³)

M : La masse de l'échantillon (g)

V_s : Le volume absolue de l'échantillon (cm³)

- ✓ Masse volumique apparente (NFP 94-064) :

Par définition la masse volumique γ_a d'un échantillon est le quotient de sa masse M par son volume V_a qu'il occupe :

$$\gamma_a = \frac{M}{V_a}$$

Tels que:

γ_a : La masse volumique apparente (g/cm³)

M : La masse de l'échantillon (g)

Va : Le volume apparent de l'échantillon (cm³)

Les résultats se résument dans le tableau suivant pour le sable utilisé:

Tableau (IV.1) : Masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés

Type d'agrégats	γ_S (g/cm ³)	(g/cm ³)
Sable blanc	1,63	2,58
Sable jaune	1,65	2,60
Sable 0/3	1,4	2,59
Gravier 3/8	1,5	2,65
Gravier 8/15	1,65	2,66

IV.2.2.La matière utilisée :

Le sable des mines de la zone Kef-Esnoun Djebel Onk est le matériau utilisé dans cette étude. Il contient principalement une grande pourcentage du Silice , à des grains arrondi en forme comme il est vu, en utilisant un microscope, dans les figures ci-dessous. D'ailleurs, l'analyse de la courbe granulométrique montre que la classification du sable utilisé est propre et mal gradué .

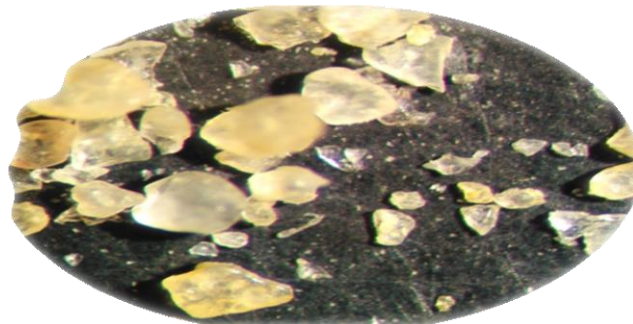


Photo (IV.1) : La forme des grains microscopique du sable jaune

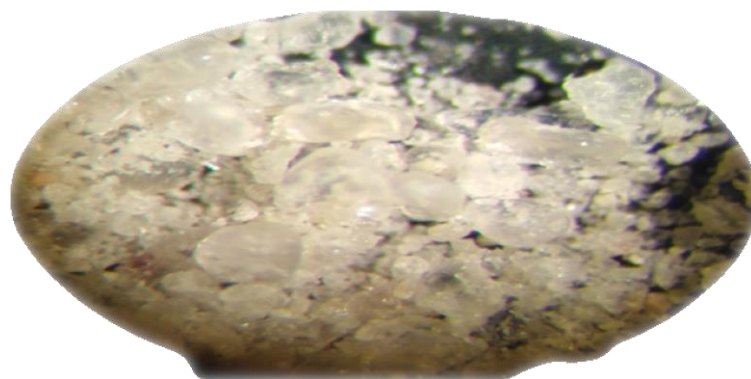


Photo (IV.2) : La forme des grains microscopique du sable blanc

IV.2.3. Analyse granulométrique (NFP 18-560):

Cet essai a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leurs dimensions ou grosseurs pour les granulats supérieurs au diamètre 0,08 mm. Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous forme d'une courbe dite courbe granulométrique. Les tableaux ci-dessous présente la distribution granulométrique de sable utilisé :

Tableau (IV.2) : Analyse granulométrique de sable utilisés (sable jaune)

Diamètre des tamis (mm)	Tamisât (%)
4	100
3,15	99
2,5	97
2	94
1,25	90
0,63	67
0,315	40
0,16	12
0,08	1

Tableau (IV.3) : Analyse granulométrique du sable utilisés (sable blanc)

Diamètre des tamis (mm)	Tamisât (%)
4	100
3,15	99
2,5	98
2	97
1,25	92
0,63	60
0,315	33
0,16	10
0,08	2

Les figures ci-dessous présente la courbe granulométrique du sable utilisé :

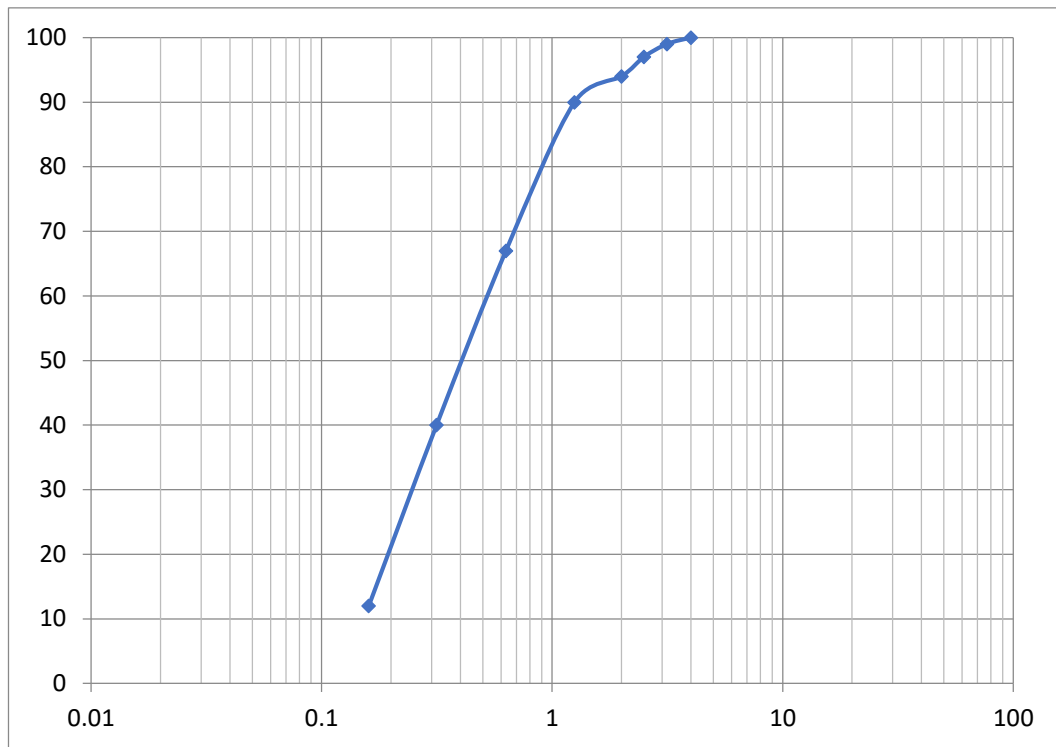


Figure (IV.1): Courbe granulométrique du sable jaune

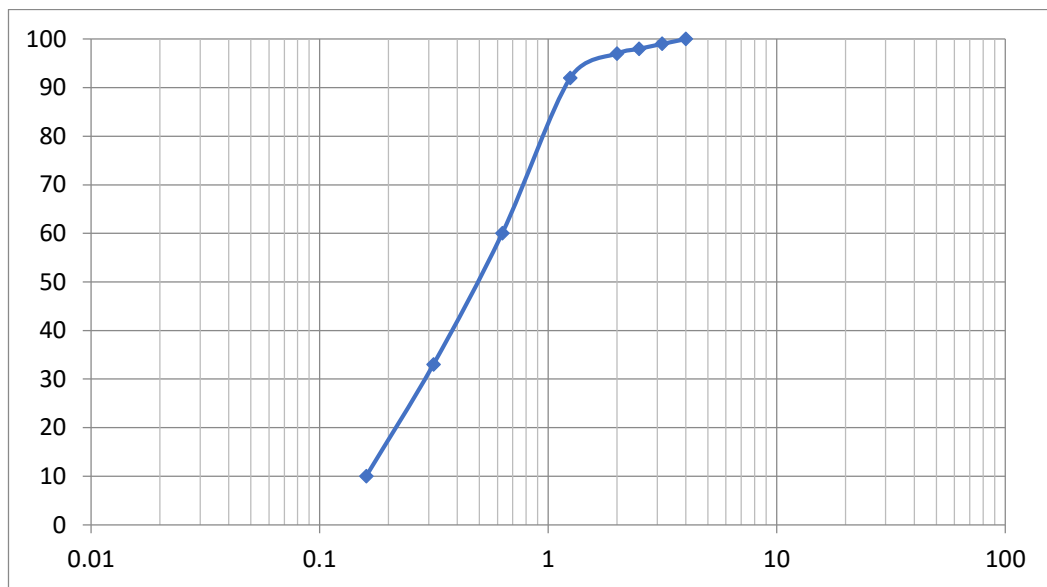
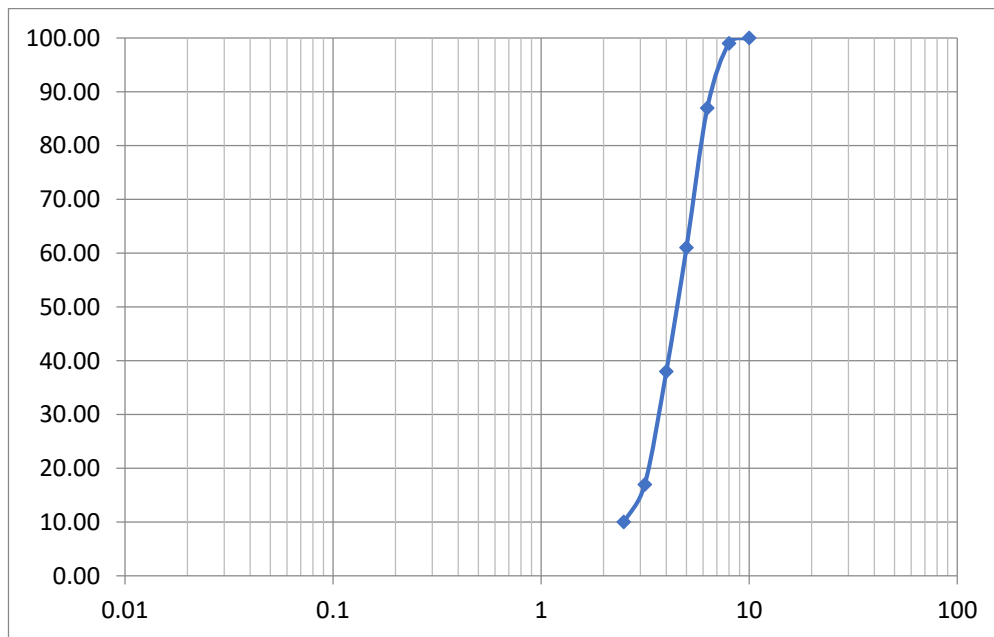


Figure (IV.2) : Courbe granulométrique du sable blanc

Tableau (IV.4) : Analyse granulométrique des graviers utilisés

Diamètre des tamis (mm)	Tamisât (%)		
	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15
20	-	-	100
16	-	-	86
12.5	-	-	52
10	-	100	18
8	-	99	9
6.3	-	87	2
5	100	61	-
4	99	38	-
3.15	93	17	-
2.5	88	10	-
2	86	-	-
1,25	75	-	-
0.63	59	-	-
0.315	40	-	-
0.16	18	-	-
0.08	9	-	-

**Figure (IV.3) : Courbe granulométrique du gravier 3/8**

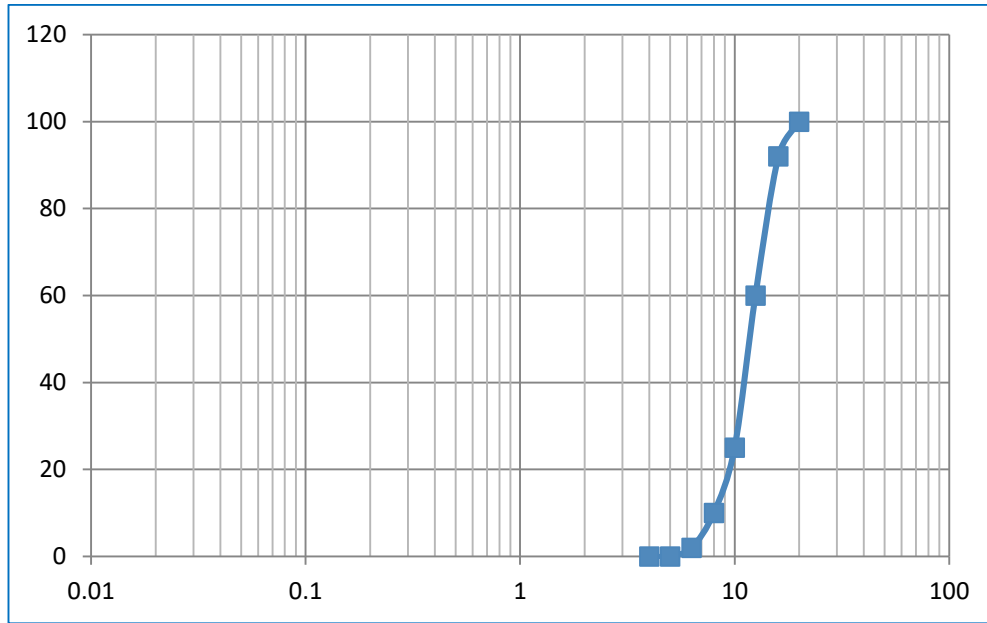


Figure (IV.4) : Courbe granulométrique du gravier 8/15

IV.2.4.Équivalent de sable (NF P 18-598) :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable effectué sur une fraction 0/5 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout au bout de 20 minutes on mesure les éléments suivants :

- hauteur h_1 : sable propre +éléments fine (floculant). - hauteur h_2 : sable propre seulement.

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

$$ES = \frac{100 \times h_2}{h_1}$$

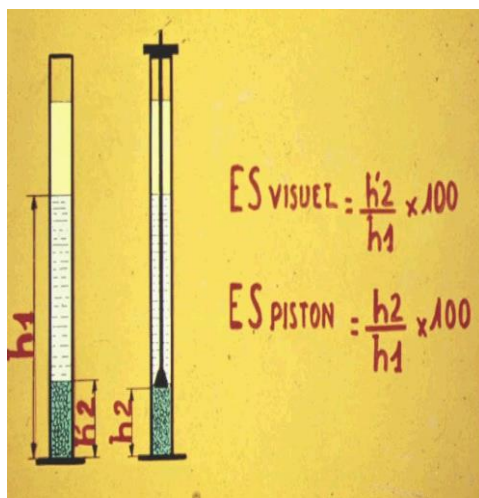


Figure (IV.5) : Principe d'essai d'équivalent de sable

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau (IV.5) : Équivalent de sable des deux types utilisés

Type de sable	Sable Jaune	Sable Blanc	Spécifications
ES%	91,3	70,5	≥ 60

Les valeurs trouvées sont supérieures à la valeur recommandée c'est-à-dire que ces sables sont propres.

IV.2.5.L'Analyse chimique :

Tableau (IV.6) : Fiche technique du sable blanc

Elément	Formule	%
Silice Totale	SiO ₂	97.60
Oxyde d'aluminium	Al ₂ O ₃	0.83
Oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	0.30
Oxyde de calcium	CaO	0.60
Oxyde de Magnésium	MgO	0.70
Oxyde de potassium	K ₂ O	0.50
Oxyde de sodium	Na ₂ O	0.10
Oxyde de titane	TiO ₂	0.049
Oxyde de chrome	Cr ₂ O ₃	0.037
Oxyde de manganèse	MnO	0.011
Anhydride phosphorique	P ₂ O ₅	0.086
Anhydride sulfurique	SO ₃	0.26
Perte au feu	/	0.38

Tableau (IV.7) : fiche technique du sable jaune

Elément	Formule	%
Silice Totale	SiO ₂	96.00
Oxyde d'aluminium	Al ₂ O ₃	0.91
Oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	0.35
Oxyde de calcium	CaO	0.84
Oxyde de Magnésium	MgO	0.20
Oxyde de potassium	K ₂ O	0.30
Oxyde de sodium	Na ₂ O	0.12
Oxyde de titane	TiO ₂	0.042
Oxyde de chrome	Cr ₂ O ₃	0.062
Oxyde de manganèse	MnO	0.011
Anhydride phosphorique	P ₂ O ₅	0.373
Anhydride sulfurique	SO ₃	0.24
Perte au feu	/	0.62

IV.2.6. Propreté superficielle (NF P 18-591) :

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

IV.2.7. Essai d'aplatissement (NF 18-561) :

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

IV.2.8. Essai Los Angeles (NF P 18-573) :

Cet essai permet de déterminer la résistance aux chocs des granulats. Il simule les chocs des roues des véhicules sur une route. L'essai consiste à introduire des gravillons dans le cylindre de la machine Los Angeles. Lors de sa rotation, les granulats sont heurtés par des boulets plus lourds que les gravillons. La masse des éléments inférieurs à 1,6mm à la fin de l'essai donne la résistance aux chocs du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant aux chocs.



Photo (IV.3) : Machine de l'essai Los Angeles



Photo (IV.4) : Les boules de purée de l'essai Los Angeles

IV.2.9. Essai micro deval en présence d'eau (MDE) (NF P 18-572) :

Cet essai permet de déterminer l'usure d'une chaussée sous l'effet de frottements (pneus des véhicules). L'essai consiste à introduire des granulats dans le cylindre de la machine MDE, avec de l'eau et des billes de taille normalisée équivalente à celle des gravillons. Lors de la rotation du cylindre, les gravillons frottent sur les billes. La masse des éléments inférieurs à

1,6mm à la fin de l'essai donne la résistance à l'usure du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant à l'usure.



Photo (IV.5) : Machine de l'essai micro deval en présence d'eau



Photo (IV.6) : La charge abrasive de l'essai micro deval en présence d'eau

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant:

Tableau (IV.8) : Caractéristiques des graviers utilisés

Les essais	Classe des graviers		Spécifications
	3/8	8/15	
Essais de propreté	1,26	0,5	$\leq 2\%$
Essai d'aplatissement	19,22	15,42	$\leq 20\%$
Essai los Angeles	/	24,1	$\leq 25\%$
Essai micro Deval	20,1	16,2	$\leq 20\%$

IV.3. Caractéristiques du bitume utilisé :

Le bitume utilisé dans cette étude est un bitume pur de classe 40/50. Après les essais d'identification réalisés sur ce bitume dans le laboratoire on a obtenu les résultats suivants :

Tableau (IV.9) : Caractéristiques du bitume 40/50

Essai	Unité	Résultat	Spécifications
Densité	g/cm ³	1.006	1.00à1.10
Pénétrabilité à 25°C	1/10 mm	43	40à50
Point de ramollissement TBA	°C	51	47à60

IV.4.Description des différents mélanges étudiés :

IV.4.1.Déterminations des mélanges étudiés :

Dans notre étude nous avons fait trois formulations :

la première formulation nous avons utilisé le sable concassé 0/3 gravier 3/8 et 8/15 . Le mélange granulométrique utilisé permet d'obtenir un mélange d'enrobé type béton bitumineux (témoin).

La deuxième formulation nous avons utilisé le sable de mine (sable jaune), gravier 3/8 et 8/15 c'est à dire nous substituons le sable concassé 0/3 par le sable jaune.

La troisième formulation nous avons utilisé le sable de mine (sable blanc) , gravier 3/8 et 8/15, c'est à dire nous substituons le sable concassé 0/3 par le sable blanc.

Les mélanges granulométrique utilisés permet d'obtenir un mélange d'enrobé type béton bitumineux à base de sable de mine .

Suivant notre objectif dans ce mémoire de la valorisation du sable de mine dans la formulation de béton bitumineux , nous avons essayé de choisir trois mélanges avec de différent dosage de bitume, le premier mélange béton bitumineux ordinaire (témoin), la deuxième mélange béton bitumineux à base de sable de mine (sable jaune) et la troisième mélange béton bitumineux à base de sable de mine (sable blanc).

Pour les calculs des pourcentages des différents composants, on adopté la formule suivante :

$$\text{Mélange (\%)} = (\%) \text{ passant} \times (\%) \text{ des agrégats} / 100$$

Les tableaux suivants présentent les différents pourcentages des agrégats obtenus :

Tableau (IV.10) : Pourcentages des agrégats utilisés (BB avec SB)

TAMIS	passant 0/3 (%)	G 0/3 (43%)	passant 3/8 (%)	G 3/8 (21%)	passant 8/15(%)	G 8/15 (36%)	MELANGE (100%)
20	100	43	100	21	100	36	100
16	100	43	100	21	86	31	95
12,5	100	43	100	21	52	19	83
10	100	43	100	21	18	6	70
8	100	43	99	21	9	3	67
6,3	100	43	87	18	2	1	62
5	100	43	61	13	1	0	56
4	99	43	38	8	0	0	51
3,15	93	43	17	4	0	0	47
2,5	88	43	14	3	0	0	46
2	86	41	0	0	0	0	41
1,25	75	27	0	0	0	0	27
0,63	59	5	0	0	0	0	4
0,315	40	2	0	0	0	0	2
0,16	18	1	0	0	0	0	1
0,08	9	0	0	0	0	0	0

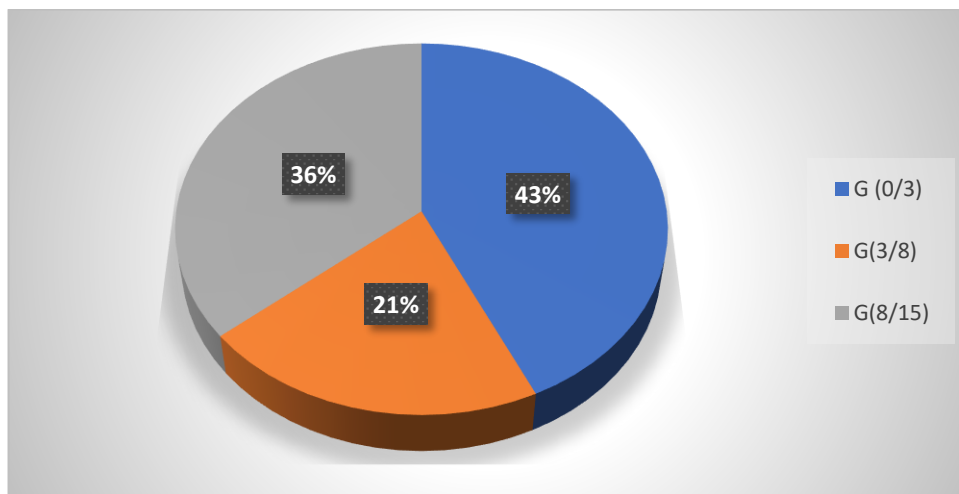


Figure (IV.6) : Composition granulair (BB avec SB)

Tableau (IV.11) : Pourcentages des agrégats utilisés (BB avec SJ)

TAMIS	passant 0/3 (%)	G 0/3 (38%)	passant 3/8 (%)	G 3/8 (32%)	passant 8/15(%)	G 8/15 (30%)	MELANGE (100%)
20	100	38	100	32	100	30	100
16	100	38	100	32	86	26	96
12,5	100	38	100	32	52	16	86
10	100	38	100	32	18	5	75
8	100	38	99	32	9	3	73
6,3	100	38	87	28	2	1	67
5	100	38	61	20	1	0	58
4	100	38	38	12	0	0	50
3,15	99	38	17	6	0	0	44
2,5	99	38	14	5	0	0	43
2	98	37	0	0	0	0	37
1,25	95	36	0	0	0	0	36
0,63	44	17	0	0	0	0	17
0,315	5	2	0	0	0	0	2
0,16	3	1	0	0	0	0	1
0,08	2	1	0	0	0	0	1

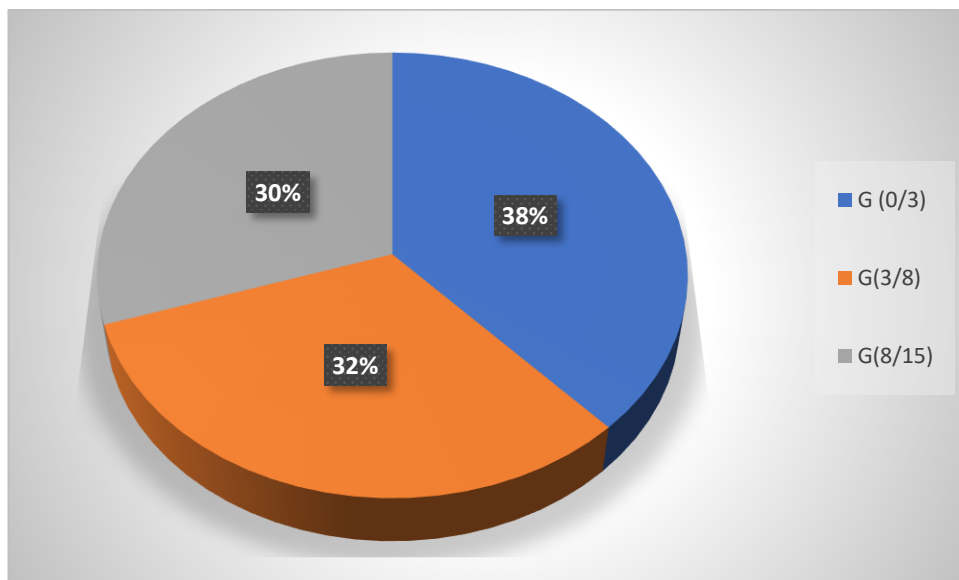


Figure (IV.7) : Composition granulaire (BB avec SJ)

Tableau (IV.12) : Pourcentages des agrégats utilisés (BB ordinaire)

TAMIS	passant 0/3 (%)	G 0/3 (43%)	passant 3/8 (%)	G 3/8 (30%)	passant 8/15(%)	G 8/15 (27%)	MELANGE (100%)
20	100	43	100	30	100	27	100
16	100	43	100	30	86	23	96
12,5	100	43	100	30	52	14	87
10	100	43	100	30	18	5	78
8	100	43	99	30	9	2	75
6,3	100	43	87	26	2	1	70
5	100	43	61	18	1	0	61
4	100	43	38	11	0	0	54
3,15	99	43	17	5	0	0	48
2,5	99	43	14	4	0	0	47
2	98	42	0	0	0	0	42
1,25	95	41	0	0	0	0	41
0,63	44	19	0	0	0	0	19
0,315	5	3	0	0	0	0	3
0,16	3	2	0	0	0	0	2
0,08	2	1	0	0	0	0	1

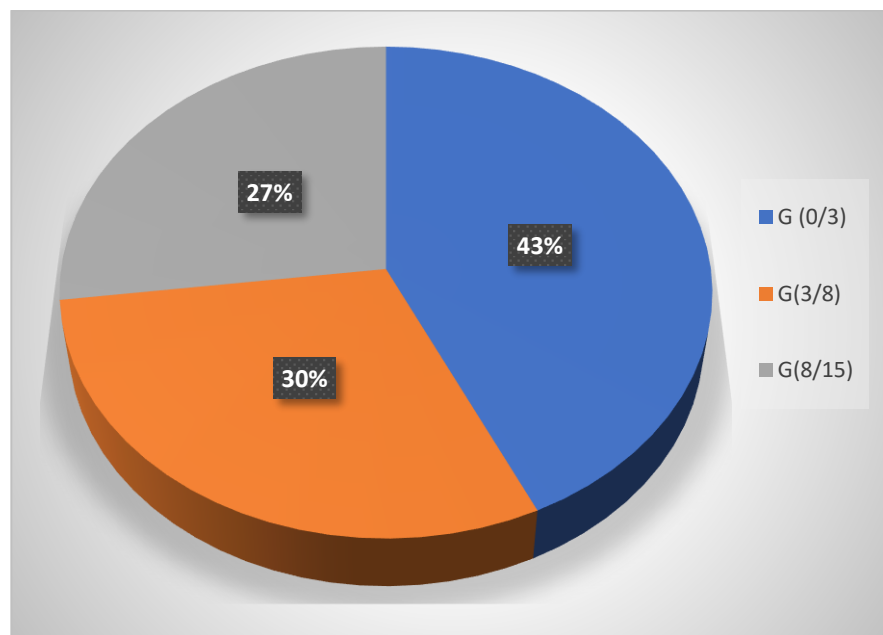


Figure (IV.8) : Composition granulaire (BB ordinaire)

Tableau (IV.13) : Fuseau de spécifications 0/14

Tamis (mm)	% de Passant	
	Minimum	Maximum
14	94	100
10	72	84
6.3	50	66
4	40	54
2	28	40
0.08	7	10

IV.4.2.Détermination des teneurs en bitume :

Des recherches expérimentales ont montré l'existence d'une teneur en bitume optimale pour chaque mélange, pour laquelle la stabilité, la cohésion et le frottement interne des agrégats (les derniers deux facteurs qui améliorent la résistance aux déformations permanentes du mélange) atteignent leurs valeurs maximales.

Les teneurs en liant du béton bitumineux expérimenté sont évaluées via la formule suivante:

$$TL = a \cdot k \cdot 5\sqrt{\Sigma}$$

Tels que:

a : 2.65/ MVRg

MVRg : la masse volumique réelle des granulats

k : module de richesse compris entre 3,3 et 3,90

Σ : Surface spécifique conventionnelle :

$\Sigma = 0,25G + 2,3S + 12s + 150f$; avec :

G : proportion des éléments supérieurs à 6,3 mm

S : proportion des éléments compris entre 6,3 et 0,250 mm

s : proportion des éléments compris entre 0,250 et 0,063 mm

f : proportion des éléments inférieurs à 0,08 mm.

On peut déterminer les pourcentages de bitume suivant le pourcentage des fines et les valeurs de module de richesse.

Le choix de la teneur en bitume optimale sera obtenu par la réalisation de l'essai Marshall sur des éprouvettes normalisées, correspond à une stabilité maximale.

Notons que dans les tableaux ci-dessous, les teneurs en liant exprimées sont relatives au poids des granulats. Les pourcentages du liant sont rapportés au poids du mélange.

Tableau (IV.14) : Teneurs en bitume (BB avec SJ)

MODULE DE RICHESSE(K)	3,4	3,5	3,6	3,7
α	1,06			
$5\sqrt{\Sigma}$	1,615			
$TL=K \times \alpha \times 5\sqrt{\Sigma}$	5,82	5,99	6,17	6,33

Tableau (IV.15) : Teneurs en bitume (BB avec SB)

MODULE DE RICHESSE(K)	3,4	3,5	3,6	3,7
α	1,06			
$5\sqrt{\Sigma}$	1,60137			
$TL=K \times \alpha \times 5\sqrt{\Sigma}$	5,77	5,94	6,11	6,28

IV.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé d'identifier les types de agrégats utilisés dans cette étude: sable de mine (sable blanc et sable jaune), sable concassé 0/3, gravier 3/8 et gravier 8/15 en suivant les normes recommandées.

Après l'analyse des différents agrégats nous avons conclu que :

- Le sable blanc est un sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité , de nature siliceuse et contient 97.60% de Silice Totale (SiO₂).
- Le sable jaune est un Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau , de nature siliceuse et contient 96% de Silice Totale (SiO₂).
- De même, le gravier 3/8et 8/15 sont propres et ils ont une distribution granulométrique bien graduée.

Finalement, de cette étude six mélanges ont été formulées afin de faire les expérimentations nécessaires.

CHAPITRE V : ESSAIS REALISE ET EXPERIMENTAUX

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons exposer l'étape expérimentale par la réalisation des deux essais mécaniques l'essai Marshall et l'essai Duriez sur le béton bitumineux.

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. L'étude expérimentale déroulée dans cette thèse montrée dans le schéma ci-dessous :

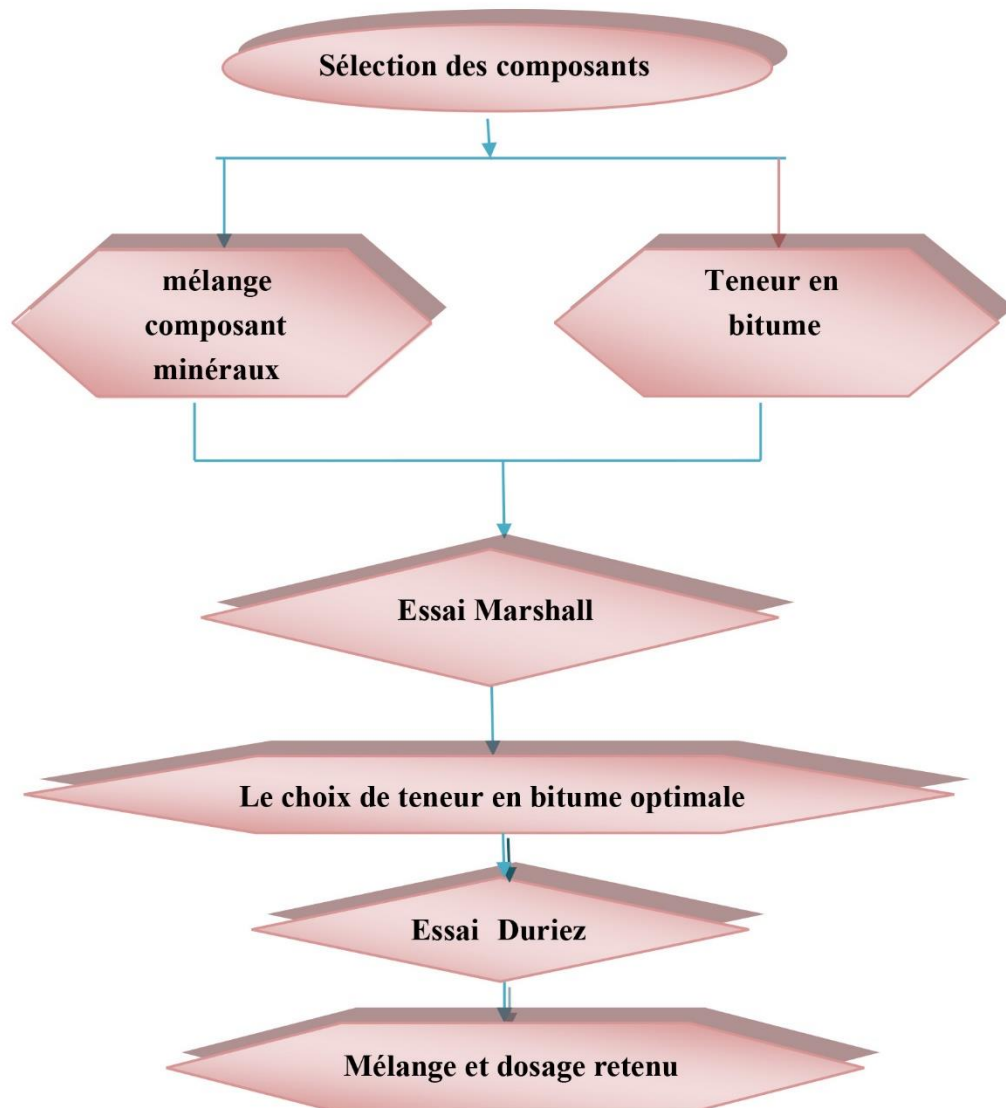


Figure (V.1) : Étapes de formulation

V.2. Confection des éprouvettes :

Les éprouvettes sont confectionnées suivant le type d'essai Marshall ou Duriez.

V.2.1. Préparation des mélanges :

La fabrication de mélange de béton bitumineux au niveau du laboratoire a été réalisée conformément à la norme NFP 98-251 soit pour l'essai Marshall ou pour l'essai Duriez.

V.2.1.1. Préparation des agrégats:

Chacun des types des agrégats entrant dans la composition du mélange hydrocarboné est prélevé selon la norme NFP 98-250-3 . Les différents agrégats sont chauffés dans des récipients dans une étuve à 160°C de température.

V.2.1.2. Préparation du liant hydrocarboné :

Une quantité de liant correspondant aux besoins de l'essai est prélevée sans dépasser 100°C.

Le liant prélevé est placé dans un récipient remplis 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 165°C).
- ✓ Le récipient est placé sur une plaque chauffante et son contenu est agité constamment pour homogénéiser sa température, et le maintenir à sa température de référence. Cette opération ne doit pas se prolonger plus de 10min.

La température de référence de préparation des mélanges est définie suivant la catégorie de liant hydrocarboné utilisée comme suit (NFP 98-251-1):

- Bitume 80/100 : 140°C ± 5°C
- Bitume 60/70 : 150°C ± 5°C
- Bitume 40/50 : 160°C ± 5°C
- Bitume 20/30 : 180°C ± 5°C



Photo (V.1) : Etuve utilisé

V.2.1.3. Malaxage :

La cuve contenant les agrégats à mélanger est installée sur le malaxeur en essayant de limiter au maximum les déperditions de température. Le liant est versé. La masse de liant ne doit pas dépasser de plus de 7% en valeur relative la masse de liant théorique sinon la série est rejetée. La durée de malaxage doit conduire à un mélange visuellement homogène donc la durée totale du malaxage est comprise entre 4 et 5 min.

Après la fin de malaxage, le mélange doit être utilisé immédiatement avant le refroidissement sinon elle est rejetée.



Photo (V.2) : Malaxage utilisé

V.2.2. Confection des éprouvettes pour l'essai Marshall (NFP 98-251-2):

Comme dans les autres méthodes d'analyse, l'éprouvette Marshall est déterminée par confection d'une éprouvette cylindrique, d'une masse indicative de 1200 g, de 105 mm de diamètre et de 63,5 mm de hauteur théorique.



Photo (V.3) : Exemple d'éprouvettes Marshall

V.2.2.1. Remplissage des moules et compactage :

On pèse une quantité m égale 1200 g de mélange à 0,1% prés en valeur relative. Après avoir placé un disque de papier en fond de moule, les moules sont portés à la température de référence de préparation des éprouvettes 2 h au minimum, et on mit en place la hausse puis on introduire le mélange en une seule fois dans le moule légèrement enduit d'oléate de soude glycérociné. Ensuite, on place le deuxième disque de papier sur le mélange. Mettre les moule de l'appareil de compactage on compacte le mélange 75 coups de marteau de la dame en $55 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ (voir la photo (IV .5)). On démonte et remonte le moule en intervertissant la base et la hausse et on répète à nouveau le damage. Le nombre total des coups est 150 coups. Le moule est conservé 2h au moins à température ambiante (15 à 25° C) après leur compactage.



Photo (V.4) : Opération de compactage



Photo (V.5) : Les moules de l'essai Marshall

V.2.2.2. Démoulage :

Après refroidissement les moules et pour les démouler, on fait passer l'éprouvette dans la hausse en s'aidant du piston extracteur et de la presse comme la photo ci-dessous explique ce démarche :

La confection des autres éprouvettes se fait avec les mêmes étapes précédentes. Quand les éprouvettes sont prêtes, on commence le déroulement de l'essai Marshall qui on détermine de celui-ci les paramètres suivants :

- ✓ La densité apparente de l'éprouvette.
- ✓ La masse volumique apparente et absolue de l'éprouvette.
- ✓ Pourcentage des vides de l'éprouvette en %.
- ✓ La Compacité de l'éprouvette.
- ✓ Déformation ou fluage Marshall en mm.
- ✓ Stabilité Marshall en KN.



Photo (V.6) : Opération de démoulage

V.2.2.3. Confection des éprouvettes pour l'essai Duriez (NFP 98-251-1):

L'éprouvette de Duriez est déterminée par confection d'une éprouvette cylindrique, d'une masse indicative de 1000 g, de 80 mm de diamètre et de 190 mm de hauteur.



Photo (V.7) : Éprouvettes Duriez obtenues

V.2.2.4. Remplissage des moules et compactage :

Un piston est placé à la partie inférieure du moule. On introduit le mélange en une seule fois dans le moule très légèrement enduit d'oléate de soude glycéринé (les moules sont portés à la température de référence de préparation des éprouvettes 2 h au minimum) avant l'opération (photo (IV.8)). Les moules pleins sont ensuite introduits dans une étuve dont la température à proximité à la température de référence ; ils doivent y séjourner entre ½ h et 2 h.

On ajuste le cylindre plein et on porte le tout entre les plateaux de la presse. Le compactage des éprouvettes doit être réalisé par double effet (les opérations doivent être menées de manière à éviter au maximum les déperditions de température). On maintient la pression cinq minutes sachant que la charge appliquée est de l'ordre $60 \text{ KN} \pm 0,5\%$.

Les éprouvettes sont conservées couchées dans leur moule au minimum 4 h jusqu'à retour à la température ambiante, puis elles sont démoulées.



Photo (V.8) : Opération de compactage



Photo (V.9) : Les moules de l'essai Deriez

V.2.2.5. moulage :

Le démoulage se fera à l'aide de la presse. Les éprouvettes extraites sont réparties en deux lots, les éprouvettes de premier lot (sont au nombre de 2) sont destinées pour déterminer la densité apparente et les éprouvettes de deuxième lot sont destinées pour l'essai de résistance à la compression. Les éprouvettes de deuxième lot sont réparti comme suit : deux éprouvettes se font sans immersion et les deux autres se font avec immersion le tout sont placées dans une armoire spéciale à $18^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 7 jours.

Les paramètres issus de cet essai sont :

- ✓ La densité apparente de l'éprouvette.
- ✓ La densité absolu de l'éprouvette
- ✓ Compacité de l'éprouvette
- ✓ Poucentage des vides
- ✓ Le rapport " r/R "

V.3. Essais ultrasonique (NF P 18-418) :

- ✓ Principe de l'essai :

L'essai ultrasonique est un essai non destructif, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément, en effet il existe un rapport étroit entre la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques à l'intérieur de matériaux homogènes, et la qualité de ceux-ci. la détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières suivant le type de l'élément à tester:

- Mesure en transparence (directe)
- Mesures en surface (indirecte)
- Mesures semi directe

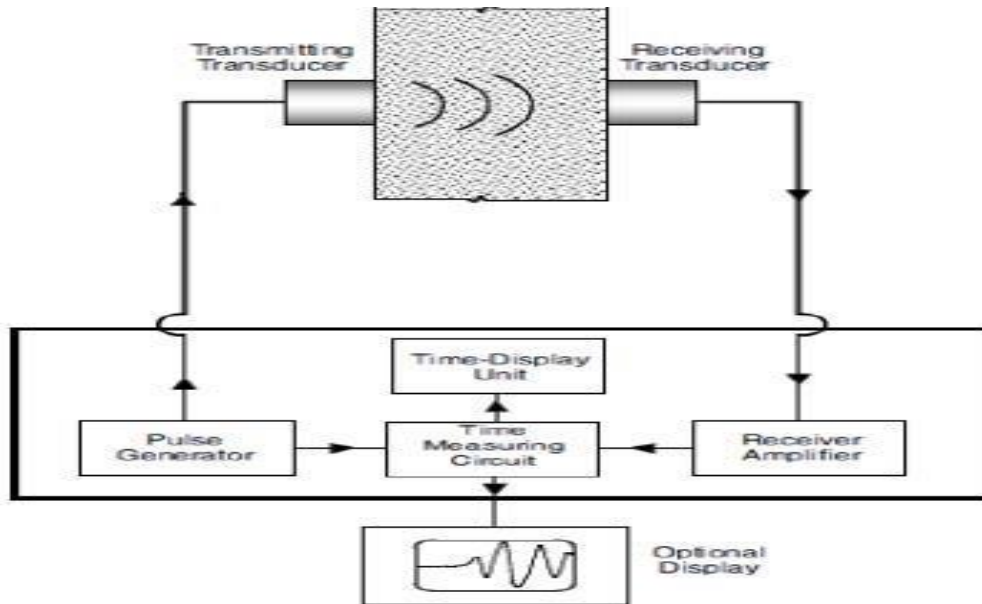


Figure (V.2) : appareil de mesure en transparence (directe)

✓ Exécution de l'essai :

Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester l'aide d'un matériau d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol. Connaissant le temps de parcours de l'onde et la distance parcourue, on pourra déterminer la vitesse de propagation (V) de l'onde ultrasonique.

Cette dernière permet le calcul du module d'élasticité E par l'équation suivante :

$$E = \frac{V^2 \rho (1+\nu)(1-2\nu)}{g(1-\nu)} \quad \text{avec : } V = \frac{d}{t}$$

Tel que :

E : Module d'élasticité [MPa]

V : La vitesse de propagation [m/s]

ρ : La densité [MN/m^3]

g : Accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)

ν : Coefficient de poisson

d : La distances séparent les transducteur émetteur et récepteur.

t : Le temps de propagation de l'onde [s].



Photo (V.10) : La préparation des éprouvettes pour l'essai ultrasonique



Photo (V.11) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes

V.4. Équipements et procédures d'essais :

V.4.1. Essai Marshall :

Le concept de l'essai Marshall était développé par Bruce Marshall en 1948 au Mississippi State Highway Department, USA .

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

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

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

✓ Principe de l'essai :

L'essai de stabilité Marshall est un essai de compression exercée suivant la génératrice d'une éprouvette cylindrique semi-frettée. Cette compression est appliquée sur l'éprouvette après ½ heure d'immersion dans un bain d'eau à 60°C .

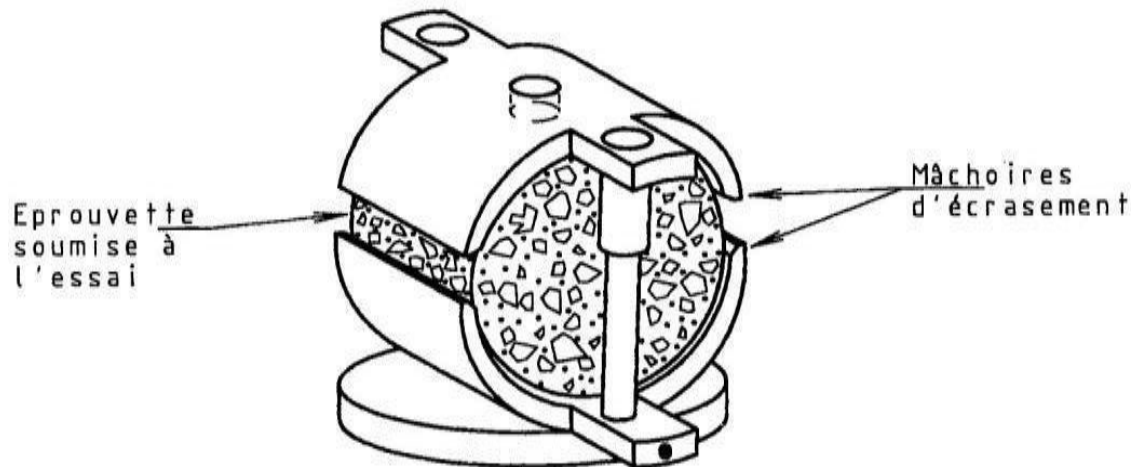


Figure (V.3): Principe de l'essai Marshall

✓ Déroulement de l'essai :

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

On immerge les éprouvettes dans le bain thermostatique réglé à $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ avec les mâchoires d'écrasement pour une durée de 30 mn (± 1 mn).

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

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

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



Photo (V.12) : Le bain thermostatique



Photo (V.13) : Éprouvette entre les mâchoires

V.4.2. Essai Duriez :

L'essai Duriez ou essai de compression-immersion ayant pour but de caractériser les qualités de résistance à la compression et résistance au désenrobage par l'eau des matériaux enrobés. Effectivement cet essai permet de déterminer à 18°C pour un compactage donné, la tenue à l'eau d'un mélange hydrocarboné à partir du rapport de résistance à la compression avant et après immersion des éprouvettes.

L'essai Duriez est réalisé sur les éprouvettes qui donnent des meilleures stabilités Marshall correspondant des teneurs en bitumes optimales.

✓ Principe de l'essai:

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

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

✓ Déroulement de l'essai:

J'étant le jour de confection des éprouvettes, on commence la conservation sans immersion au jour J + 1. Les éprouvettes sont conservées à 18°C ± 1°C et dans une ambiance à 50 % ± 10 % d'humidité relative pendant 7 j.

À jour J + 8, les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression, qu'elles aient été conservées avec ou sans immersion. Pour chaque éprouvette, le délai entre la sortie du dispositif de maintien en température et le début de l'écrasement est inférieur à 2 min. La vitesse du plateau de la presse est réglée à 1 mm ± 0,1 mm. La résistance à la compression simple est déterminée à partir de la charge maximale à la rupture de l'éprouvette d'essai exprimée en Kg. en divisant sur 50 [36]. On a la résistance à la compression exprimée en Kg/cm² qu'on s'appelle stabilité Duriez.

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

V.5. Détermination de la densité apparente par pesée hydrostatique :

L'éprouvette prévue pour cette mesure est pesée après sa confection et après immergée dans un bain de paraffine fondue. Elle est repesée à la balance hydrostatique, d'abord dans l'air puis dans l'eau, suspendue à un fil métallique. Ces différentes pesées permettent le calcul de la densité apparente. Soit **P₀** le poids de l'éprouvette avant paraffinage,

P₁ : le poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'air,

P₂ le poids de l'éprouvette après paraffinage, pesée dans l'eau

La différence (**P₁ - P₂**) correspond au volume de l'éprouvette enduite.

Le volume de la paraffine se calcule, en considérant sa densité égale à 0,9, suivant la formule :

$$(P_1 - P_0) / 0,9$$

Le volume de l'éprouvette nue est donné par :

$$(P_1 - P_2) - (P_1 - P_0) / 0,9 = V_0 \text{ La}$$

Densité apparente cherchée se déduit par :

$$\gamma_{app} = P_0 / V_0 (\text{g/cm}^3)$$

V.6. Détermination de la densité absolue :

Soit :

- ✓ γ_{app} : la densité apparente de l'éprouvette;
- ✓ γ_b : la densité du bitume ;
- ✓ γ_{s1} : la densité de sable 1;

- ✓ γ_{s2}, γ_{s3} ...celles des sables 2, 3...etc.
- ✓ P_b : le pourcentage en poids du bitume;
- ✓ P_{s1}, P_{s2}, P_{s3} ...ceux des sables

Donc la densité absolue du matériau enrobé en (g/cm^3) :

$$\gamma_{\text{abs}} = \frac{100 + P_b}{(P_b / \gamma_{sb}) + (P_{s1} / \gamma_{s1}) + (P_{s2} / \gamma_{s2}) + \dots}$$

V.7.Détermination des vides et compacité :

- Pourcentage volumétrique des vides de l'éprouvette, soit V_v % :

$$V_v = 100 \frac{MVA}{MVR}$$

- Compacité d'une éprouvette, soit C %: $C = 100 - V_v$

V.8. Détermination le pourcentage d'imbibition w (%) :

Le pourcentage d'imbibition se calcule à partir de la formule :

$$W = \frac{100(P_h - P_0)}{P_0}$$

- P_0 : étant le poids de l'éprouvette avant immersion
- P_h : le poids de l'éprouvette imbibée après 7 jours d'imbibition.

V.9.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 soit essai Marshall ou essai de Duriez.

Les deux principaux paramètres issus de l'essai Marshall sont premièrement la stabilité qui elle est définie par la charge atteinte au moment de la rupture de l'éprouvette et deuxièmement le fluage qui est définie par la diminution du diamètre vertical atteint au moment de la rupture de l'éprouvette.

Pour l'essai Duriez, Les deux principaux paramètres déduit sont le rapport entre la résistance à la compression après immersion et la résistance à la compression avant immersion.

Nous allons voir dans le chapitre suivant les résultats trouvés dans chaque essai.

CHAPITRES VI : RESULTATS ET INTERPRETATION

VI.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus suite aux essais Marshall et Duriez effectués.

VI.2. Essai Marshall :**VI.2.1. La densité apparente et la densité absolue :**

Le tableau (VI.1 et VI.2) présente la variation de la densité apparente et absolue en fonction des différents dosages du bitume selon chaque mélange :

Tableau (VI.1) : Variation de la densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume de (BB avec SJ)

Teneur en bitume (%)	5,77	5,94	6,11	6,28
Module de richesse (K)	3,4	3,5	3,6	3,7
Densité apparente (g/cm³)	2,32	2,34	2,35	2,352
Densité absolue (g/cm³)	2,43	2,428	2,42	2,418

Tableau (VI.2) : Variation de la densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume de (BB avec SB)

Teneur en bitume (%)	5,82	5,99	6,17	6,33
Module de richesse (K)	3,4	3,5	3,6	3,7
Densité apparente (g/cm³)	2,315	2,335	2,349	2,36
Densité absolue (g/cm³)	2,437	2,43	2,428	2,425

Tableau (VI. 3) : Variation de la densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume de (BB ordinaires)

Teneur en bitume (%)	5,51	5,72	5,91	6,11
Module de richesse (K)	3,4	3,5	3,6	3,7
Densité apparente (g/cm³)	2,318	2,338	2,35	2,356
Densité absolue (g/cm³)	2,434	2,429	2,424	2,421

Nous remarquons dans ces tableaux que la densité apparente et absolue dans les bétons bitumineux à base de sable jaune ou les bétons bitumineux à base de sable blanc ou les bétons bitumineux ordinaires sont sensiblement constantes en fonction de la variation des teneurs en bitumes.

Cela est dû à la méthode de formulation qui se base sur le module de richesse, où le dosage en bitume qui est déterminé pour un enrobé presque de manière totale ou quasi totale des grains dans les différents mélanges.

VI.2.2. Pourcentage des vides :

La détermination des différents types de pourcentages des vides en fonction des teneurs de bitumes se fait par les formules citées dans le chapitre précédent.

Les tableaux suivants présentent les différents pourcentages des vides obtenus:

- Pourcentage volumétrique des vides de l'éprouvette, soit V_v %

Tableau (VI.4) : Pourcentage des vides (BB avec SJ)

Teneur en bitume (%)	5,77	5,94	6,11	6,28
V_v (%)	4,53	3,62	2,89	2,73

Tableau (VI.5) : Pourcentage des vides (BB avec SB)

Teneur en bitume (%)	5,82	5,99	6,17	6,33
V_v (%)	5	3,91	3,25	2,68

Tableau (VI.6) : Pourcentage des vides (BB ordinaires)

Teneur en bitume(%)	5,51	5,72	5,91	6,11
V_v (%)	4,76	3,75	3,05	2,69

On présente les variations des différents pourcentages des vides V_v pour les mélanges par les figures suivantes :

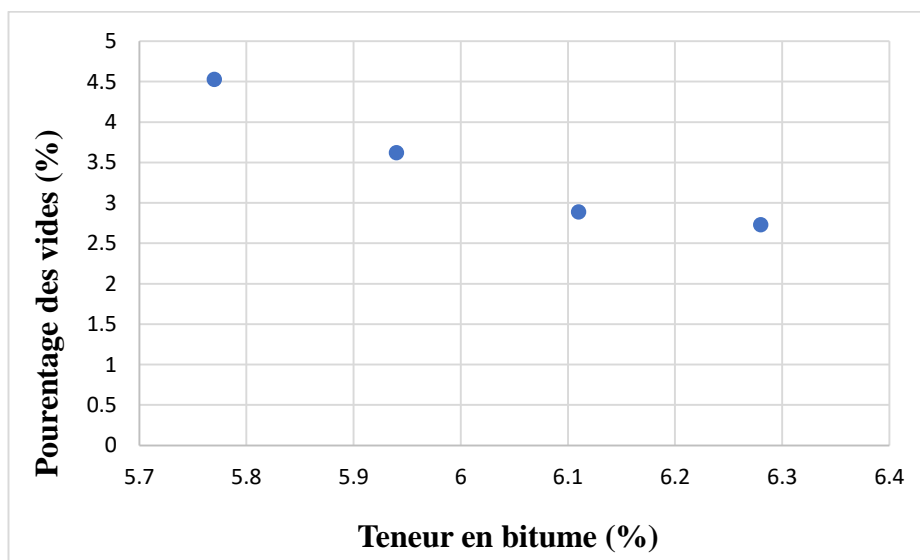


Figure (VI.1): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (BB avec SJ)

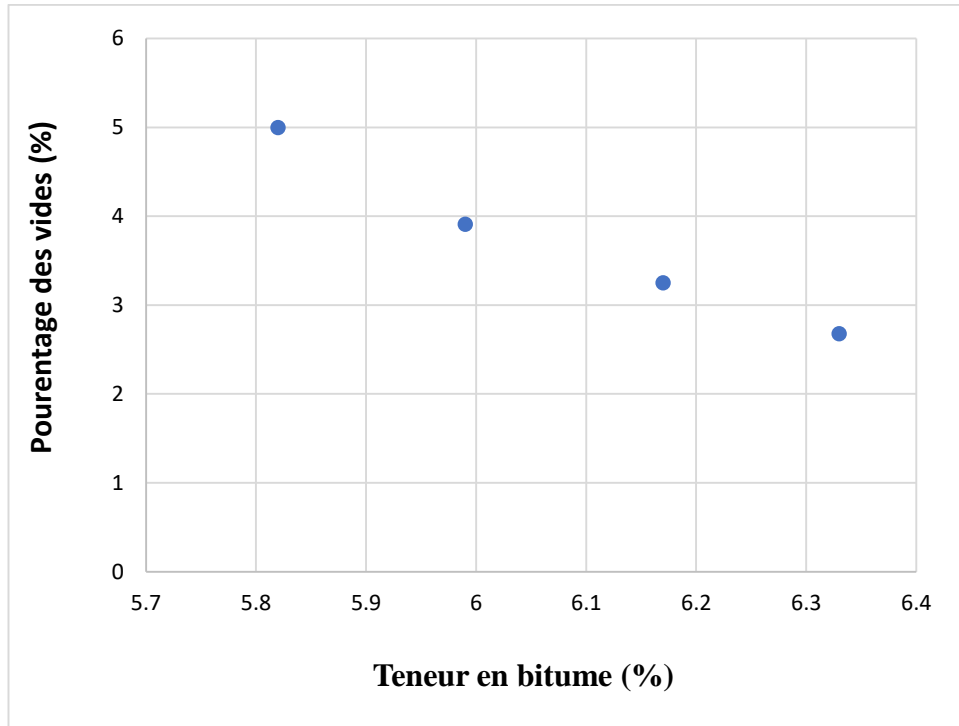


Figure (VI.2): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (BB avec SB)

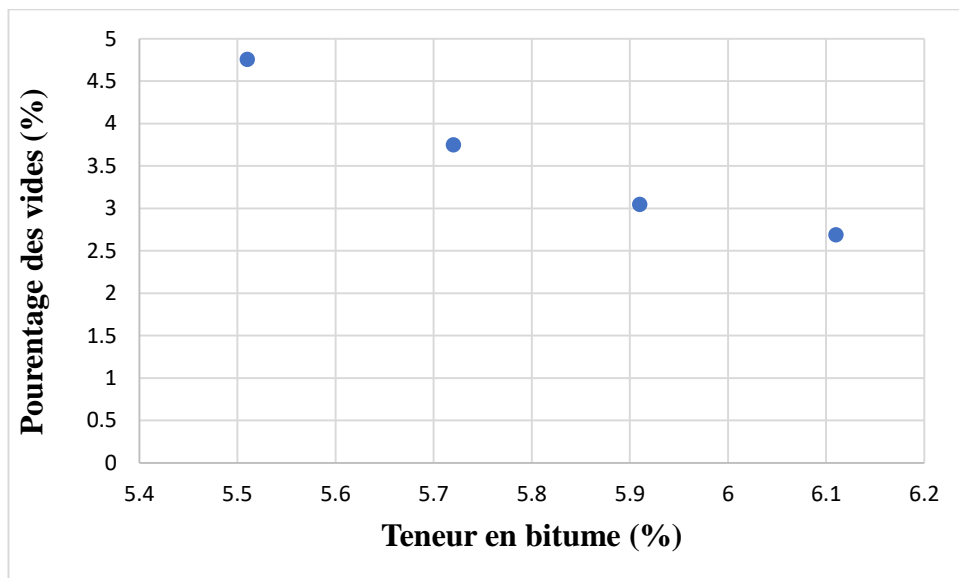


Figure (VI.3): Variation des vides en fonction de teneur en bitume (BB ordinaire)

D'après les tableaux (VI.4, VI.5 et VI.6) et les figures (VI.1, VI.2 et VI.3) nous remarquons que lorsque la teneur en bitume augmente, le pourcentage des vides se diminue dans les trois mélanges. C'est-à-dire qu'ils ont une relation inverse.

VI.2.3. La compacité :

Les tableaux suivants présentent la variation de la compacité des éprouvettes en fonction de la variation des dosages en bitume selon chaque mélange :

$$\text{Compacité (\%)} = \frac{MVA}{MVR} \times 100$$

MVA : la densité apparente (g/cm³)

MVR : la densité absolue (g/cm³)

Tableau (VI.7) : Variation de la compacité Marshall (BB avec SJ)

Teneur en bitume (%)	5,77	5,94	6,11	6,28
Compacité (%)	95,47	96,38	97,11	97,27

Tableau (VI.8) : Variation de la compacité Marshall (BB avec SB)

Teneur en bitume (%)	5,84	5,99	6,17	6,33
Compacité (%)	95	96,09	96,75	97,32

Tableau (VI.9) : Variation de la compacité Marshall (BB ordinaire)

Teneur en bitume (%)	5,51	5,72	5,91	6,11
Compacité (%)	95,24	96,25	96,95	97,31

Les figures ci-dessous présentent la variation de la compacité en fonction de la variation de dosage du bitume selon chaque mélange :

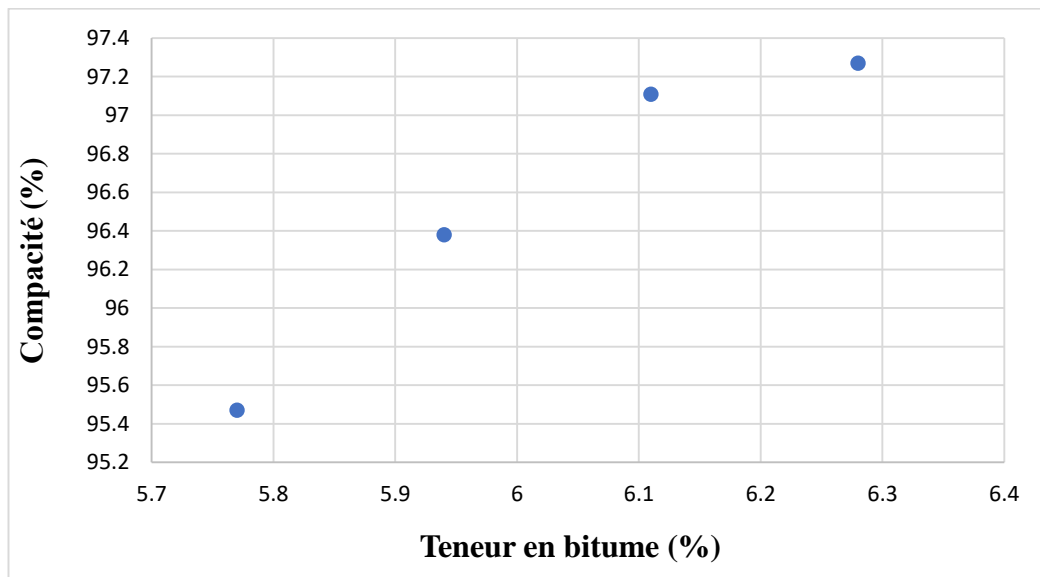


Figure (VI.4): Variation de la compacité en fonction de teneur en bitume (BB avec SJ)

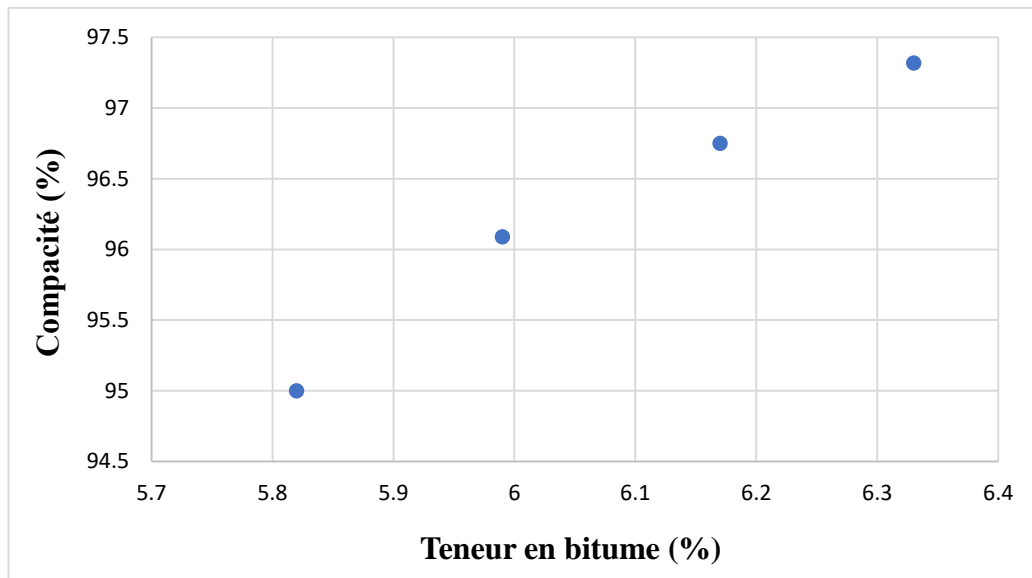


Figure (VI.5): Variation de la compacité en fonction de teneur en bitume (BB avec SB)

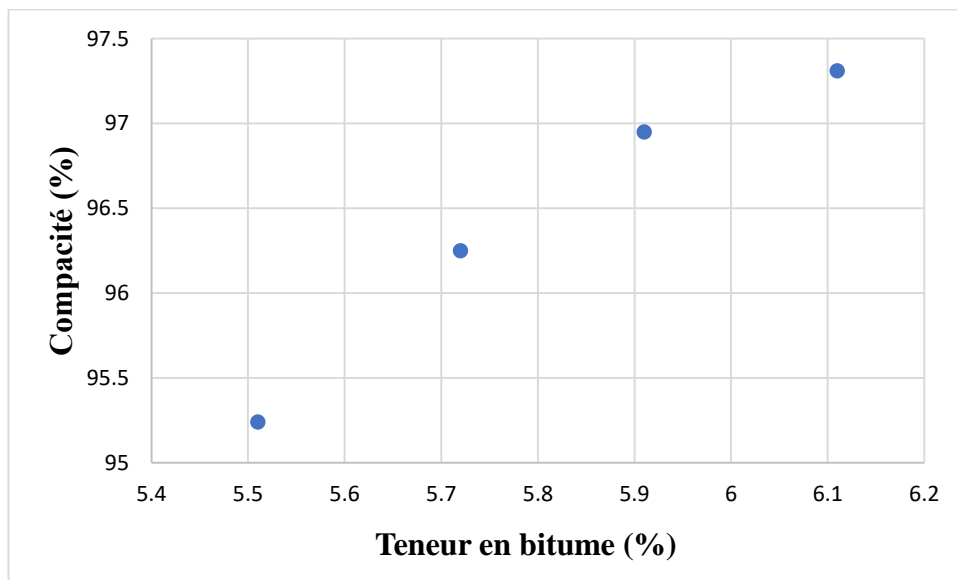


Figure (VI.6): Variation de la compacité en fonction de teneur en bitume (BB ordinaire)

D'après les tableaux (VI.7, VI.8 et VI.9) et les figures (VI.4, VI.5 et VI.6) nous remarquons que lorsque la teneur en bitume augmente, le pourcentage des vides se augmente aussi dans les trois mélanges. C'est-à-dire qu'ils ont une relation directe.

VI.2.4. Stabilité Marshall (SM) :

Les tableaux suivant présentent la variation de la stabilité Marshall des éprouvettes en fonction de la variation des dosages du bitume selon chaque mélange :

Tableau (VI.10) : Variation de la stabilité Marshall (BB avec SJ)

Teneur en bitume (%)	5,77	5,94	6,11	6,28
Stabilité Marshall (KN)	10,4	12,6	14,37	8,06

Tableau (VI.11) : Variation de la stabilité Marshall (BB avec SB)

Teneur en bitume (%)	5,84	5,99	6,17	6,33
Stabilité Marshall (KN)	8,54	9,82	10,2	8,57

Tableau (VI.12) : Variation de la stabilité Marshall (BB ordinaire)

Teneur en bitume (%)	5,51	5,72	5,91	6,11
Stabilité Marshall (KN)	6,87	7,88	10,9	7,63

Les figures ci-dessous présentent la variation de la stabilité de Marshall en fonction de la variation de dosage du bitume pour chaque mélange :

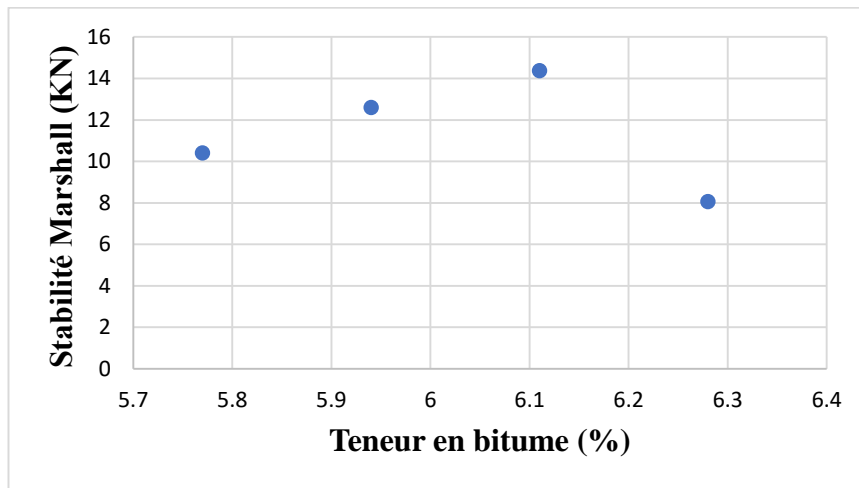


Figure (VI.7): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (BB avec SJ)

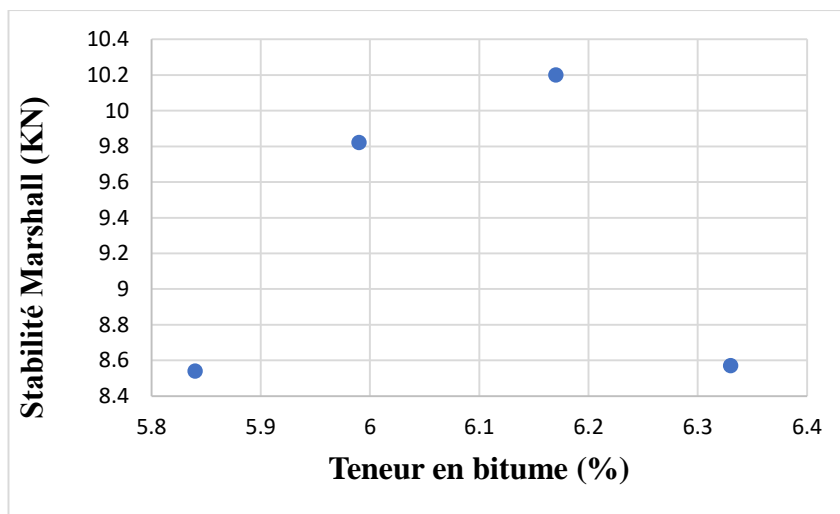


Figure (VI.8): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (BB avec SB)

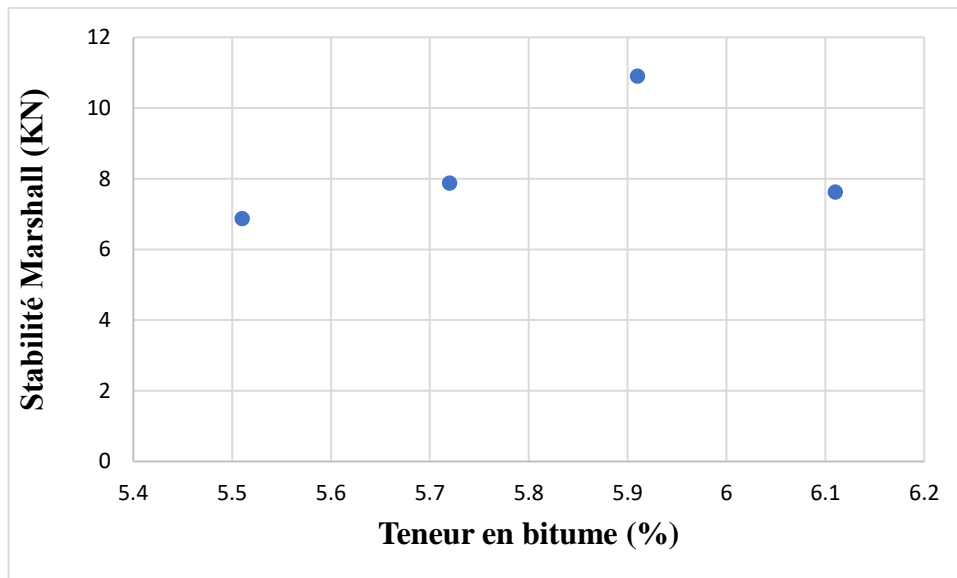


Figure (VI.9): Variation de la stabilité en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)

On observe sur les figures ci-dessus, que les résultats des stabilités Marshall trouvées pour les BB à base sable jaune sont hautes en comparaison avec les BB ordinaires, et les résultats des stabilités Marshall trouvées pour les BB à base sable blanc sont faibles en comparaison avec les BB ordinaires mais acceptable.

VI.2.5. Fluage Marshall (FM) :

Les tableaux suivants présentent la variation du fluage Marshall des éprouvettes en fonction de la variation des dosages en bitume pour chaque mélange :

Tableau (VI.13) : Variation du fluage Marshall (BB avec SJ)

Teneur en bitume (%)	5,77	5,94	6,11	6,28
Fluage Marshall (mm)	1,5	1,65	1,75	2,19

Tableau (VI.14) : Variation du fluage Marshall (BB avec SB)

Teneur en bitume (%)	5,84	5,99	6,17	6,33
Fluage Marshall (mm)	1,4	1,6	1,65	1,7

Tableau (VI.15) : Variation du fluage Marshall (BB ordinaire)

Teneur en bitume (%)	5,51	5,72	5,91	6,11
Fluage Marshall (mm)	2,2	2,55	3,3	3,6

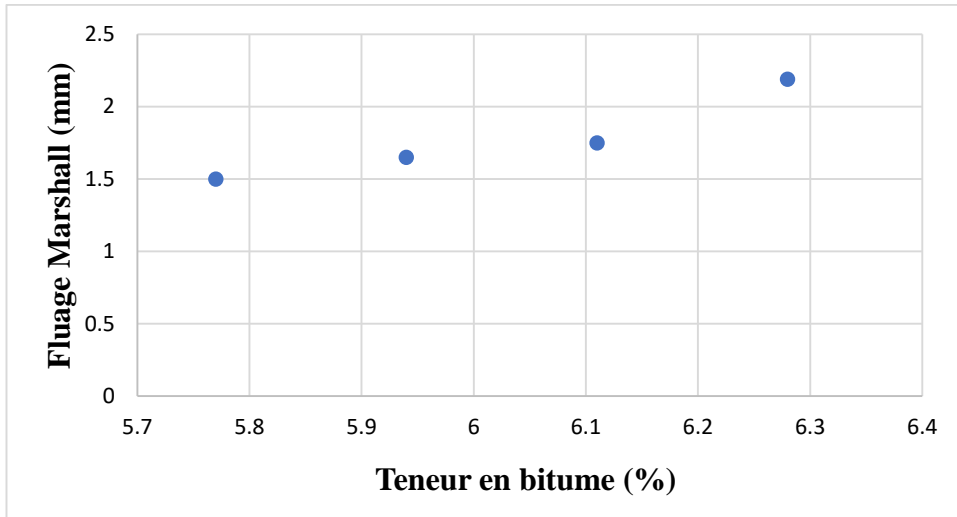


Figure (VI.10): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (BB avec SJ)

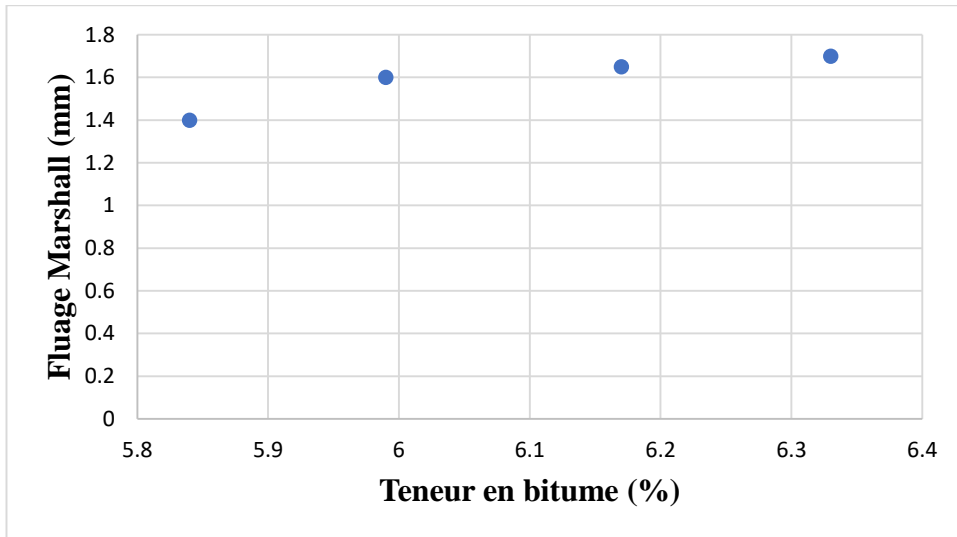


Figure (VI.11): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (BB avec SB)

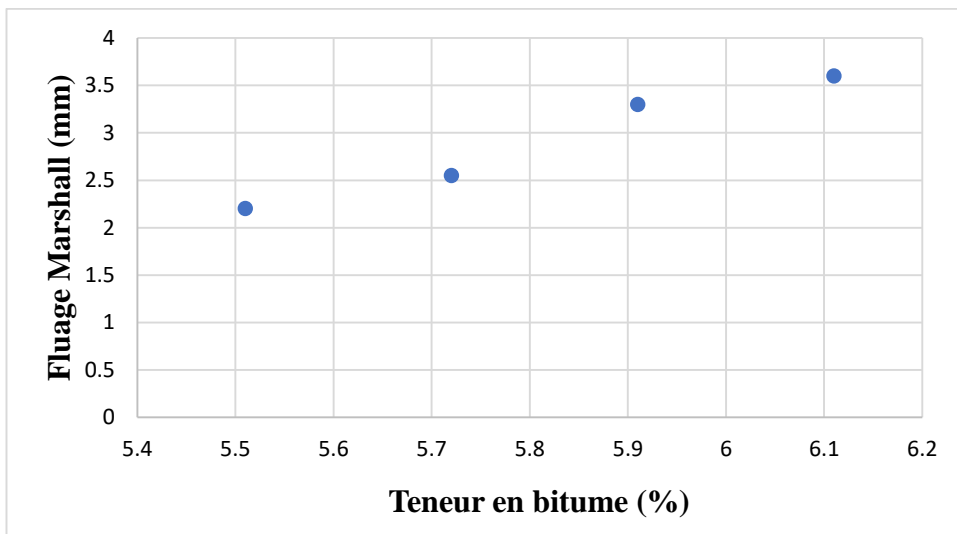


Figure (VI.12): Variation du fluage en fonction de la teneur en bitume (BB ordinaire)

On observe sur les figures ci-dessus, que les résultats des fluage Marshall trouvées pour les BB à base sable jaune et les résultats des fluage Marshall trouvées pour les BB à base sable blanc sont hautes en comparaison avec les BB ordinaires et très acceptable.

VI.2.6. Quotient Marshall (QM) :

Le rapport entre deux grandeurs (SM/FM) est appelé Quotient Marshall (QM) et donne une indication directe sur la performance du mélange :

$$QM = \frac{SM}{FM}$$

En effet, le QM est un indicateur pour la résistance aux déformations permanentes (fluage), contraintes de cisaillement et aussi pour l'orniérage des enrobés bitumineux. Les plus grandes valeurs du quotient indiquent que les mélanges sont plus résistants aux déformations permanentes.

Tableau (VI.16) : Variation de la Quotient Marshall (BB avec SJ)

Formule	A	B	C	D
Teneur en bitume (%)	5,77	5,94	6,11	6,28
Stabilité Marshall (KN)	10,4	12,6	14,37	8,06
Fluage Marshall (mm)	1,5	1,65	1,75	2,19
Quotient Marshall	6,93	7,64	8,21	3,68

Comment : la formule « C » présente des bonne performances en terme de stabilité, fluage et quotient Marshall .

Tableau (VI.17) : Variation de la Quotient Marshall (BB avec SB)

Formule	A	B	C	D
Teneur en bitume (%)	5,84	5,99	6,17	6,33
Stabilité Marshall (KN)	8,54	9,82	10,2	8,57
Fluage Marshall (mm)	1,4	1,6	1,65	1,7
Quotient Marshall	6,1	6,14	6,18	5,04

Comment : la formule « C » présente des bonne performances en terme de stabilité, fluage et quotient Marshall.

VI.3.Essais ultrasonique (NF P 18-418) :

Les résultats de la campagne d'essais effectuée sont représentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau (VI.18) : Résultats d'essai ultrasonique pour le BB à base de sable blanc a l'état humide

Echantillons	Pourcentage du liant (%)	Temps (us)	Vitesse (m/s)	La densité	Module d'élasticité (MPa)
1	5,84	49,7	1871,23	0,0226	5992,38
2	5,99	48,5	1917,56	0,0226	6181,40
3	6,17	38,4	2421,9	0,0222	9860,56
4	6,33	31,8	2924,53	0,0222	14637,16

Tableau (VI.19) : Résultats d'essai ultrasonique pour le BB à base de sable blanc a l'état sec

Echantillons	Pourcentage du liant (%)	Temps (us)	Vitesse (m/s)	La densité	Module d'élasticité (MPa)
1	5,84	37,8	2460,32	0,0218	10028,89
2	5,99	34	2735,3	0,0220	12509,68
3	6,17	33	2818,18	0,0223	13460,34
4	6,33	32,1	2897,2	0,0224	14289,55

Tableau (VI.20): Résultats d'essai ultrasonique pour le BB à base de sable jaune a l'état humide

Echantillons	Pourcentage du liant (%)	Temps (us)	Vitesse (m/s)	La densité	Module d'élasticité (MPa)
1	5,77	38,7	2403,1	0,0219	9611,73
2	5,94	34,1	2727,27	0,0222	12549,4
3	6,11	33,8	2751,48	0,0224	12888,26
4	6,28	32,4	2870,37	0,0227	14213,96

Tableau (VI.21): Résultats d'essai ultrasonique pour le BB à base de sable jaune a l'état sec

Echantillons	Pourcentage du liant (%)	Temps (us)	Vitesse (m/s)	La densité	Module d'élasticité (MPa)
1	5,77	38,7	2403,1	0,0219	9611,73
2	5,94	34,1	2727,27	0,0222	12549,4
3	6,11	31,8	2924,53	0,0224	14560,42
4	6,28	31	3000	0,0224	15321,6

Tableau (VI.22): Résultats d'essai ultrasonique pour le BB ordinaire a l'état humide

Echantillons	Pourcentage du liant (%)	Temps (us)	Vitesse (m/s)	La densité	Module d'élasticité (MPa)
1	5,51	32,2	2888,20	0,0222	14074,11
2	5,72	30,7	3029,93	0,0223	15559,07
3	5,91	29	3206,89	0,0228	17820,36
4	6,11	27,8	3345,32	0,0225	19136,89

Tableau (VI.23): Résultats d'essai ultrasonique pour le BB ordinaire a l'état sec

Echantillons	Pourcentage du liant (%)	Temps (us)	Vitesse (m/s)	La densité	Module d'élasticité (MPa)
1	5,51	29,7	3131,31	0,0225	16766,72
2	5,72	28,7	3240,42	0,0218	17396,93
3	5,91	28,5	3251,75	0,0220	17679,52
4	6,11	27,3	3406,59	0,0222	19579,71

Les figures ci-dessous présentent la variation du temps en fonction de la variation de teneur en bitume:

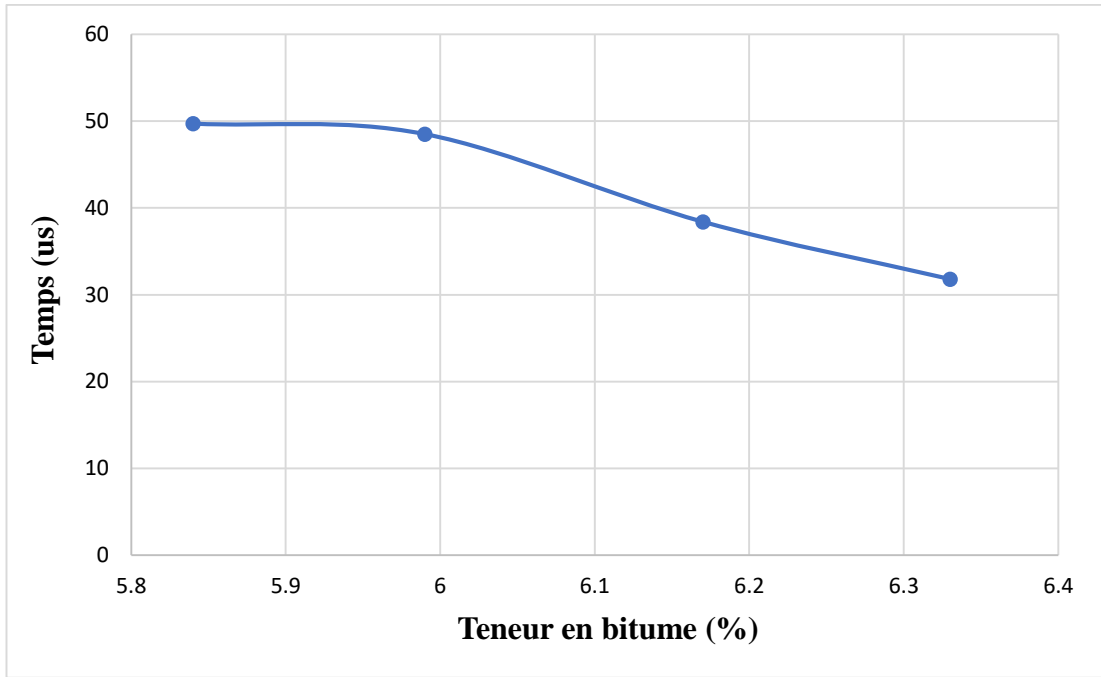


Figure (VI.13) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable blanc a l'état humide

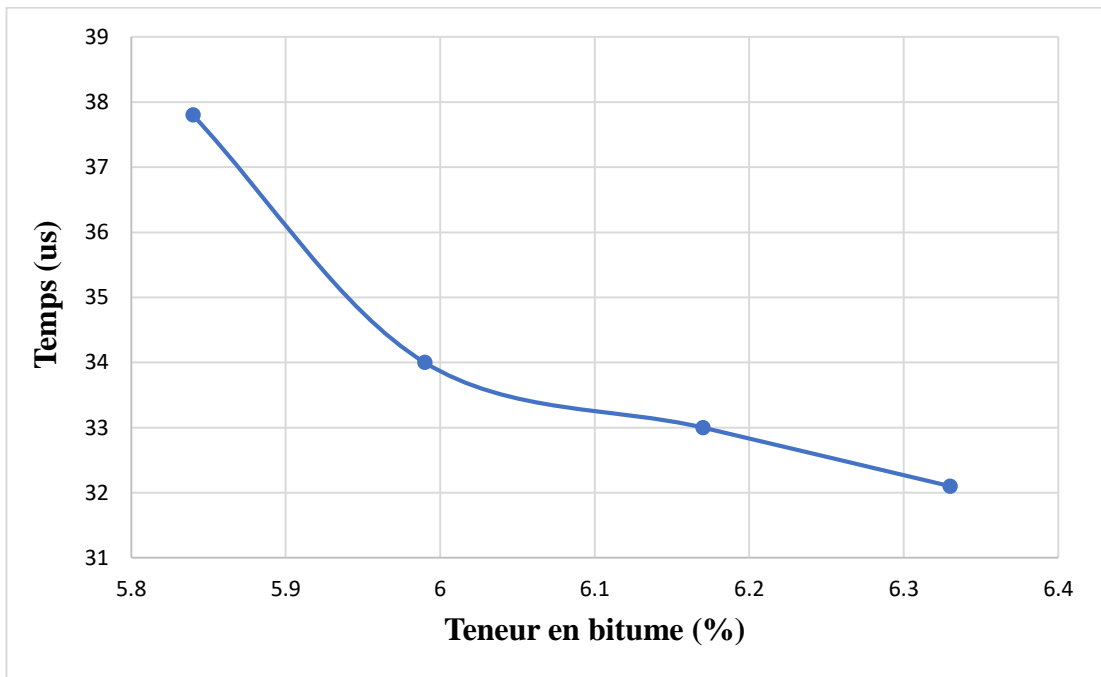


Figure (VI.14) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable blanc a l'état sec

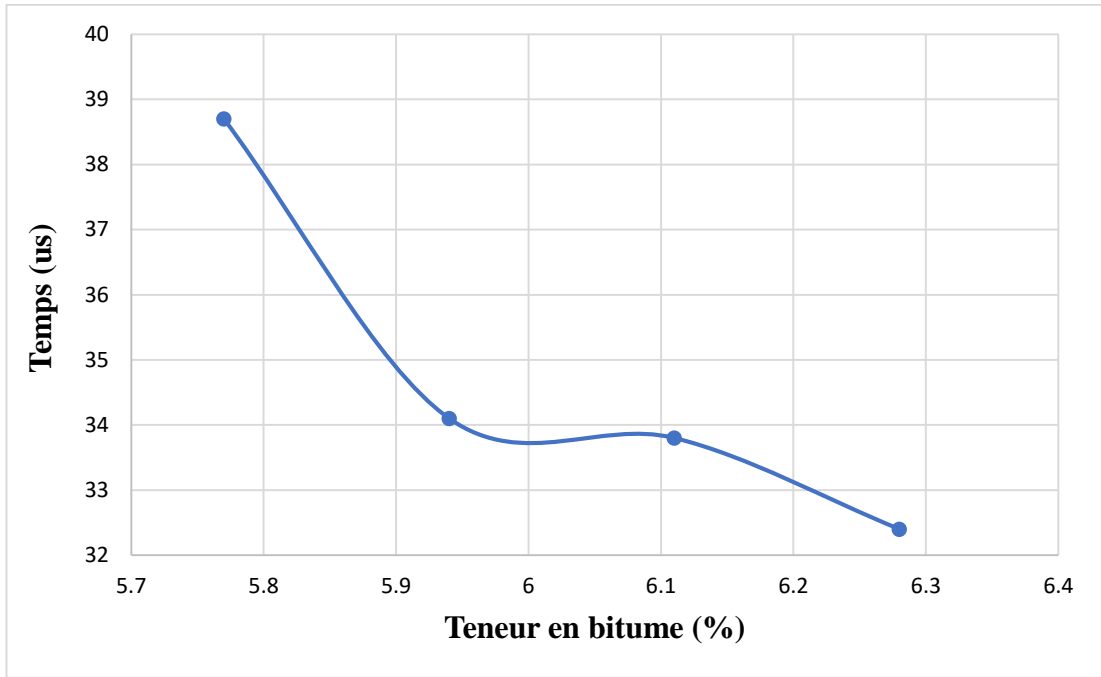


Figure (VI.15) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable jaune a l'état humide

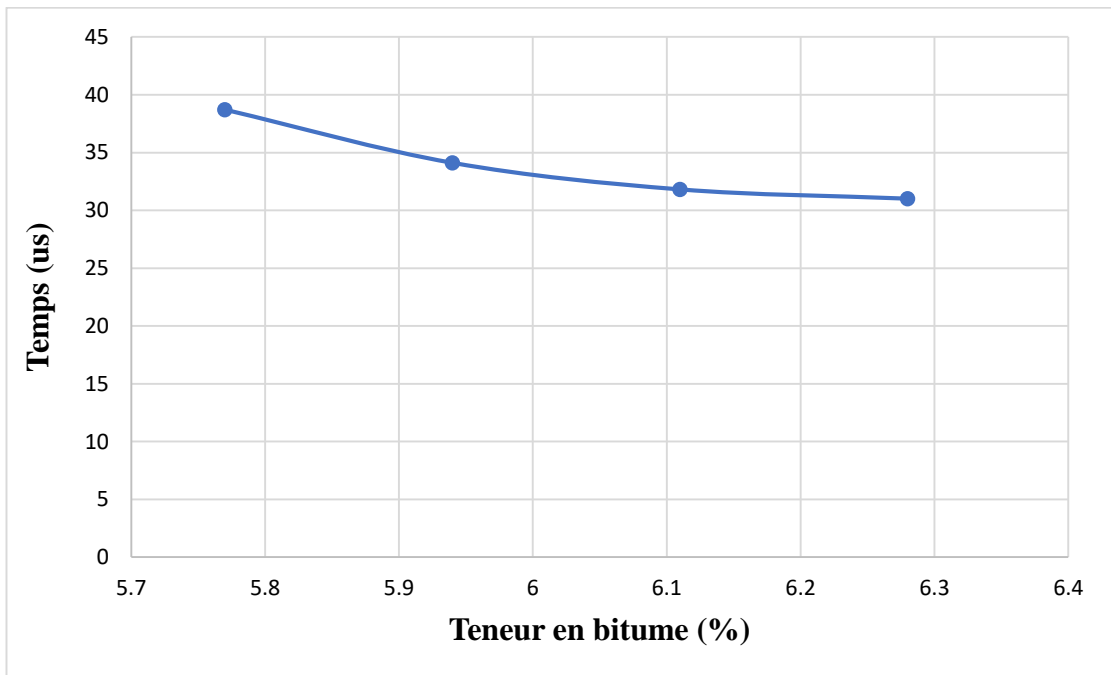


Figure (VI.16) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable jaune a l'état sec

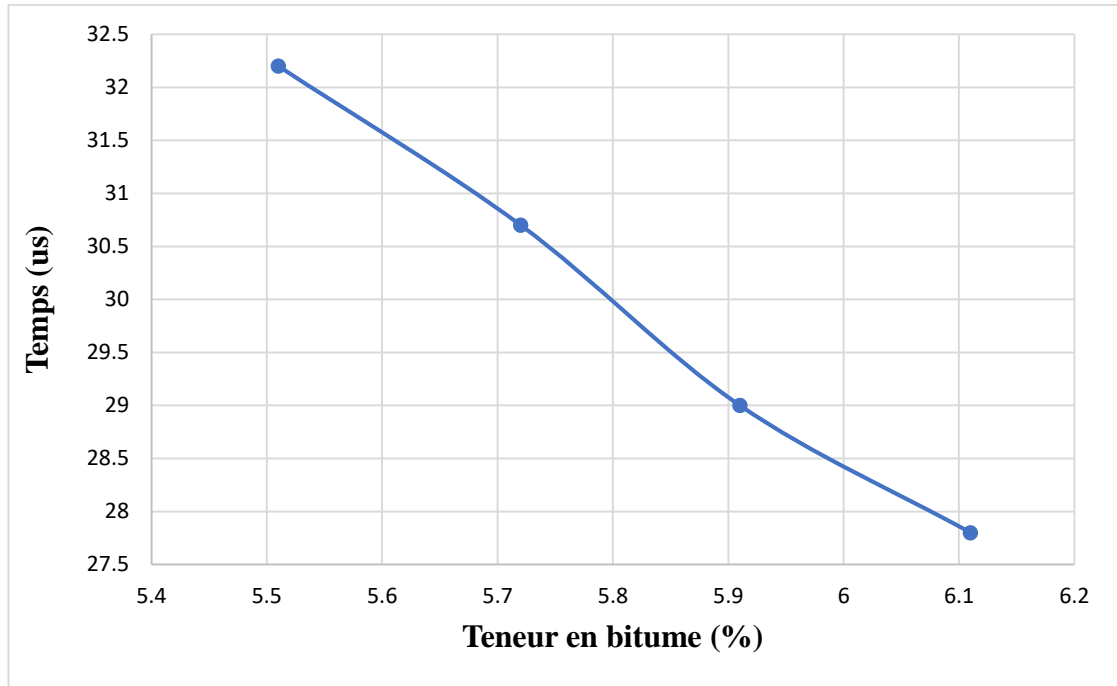


Figure (VI.17) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB ordinaire a l'état humide

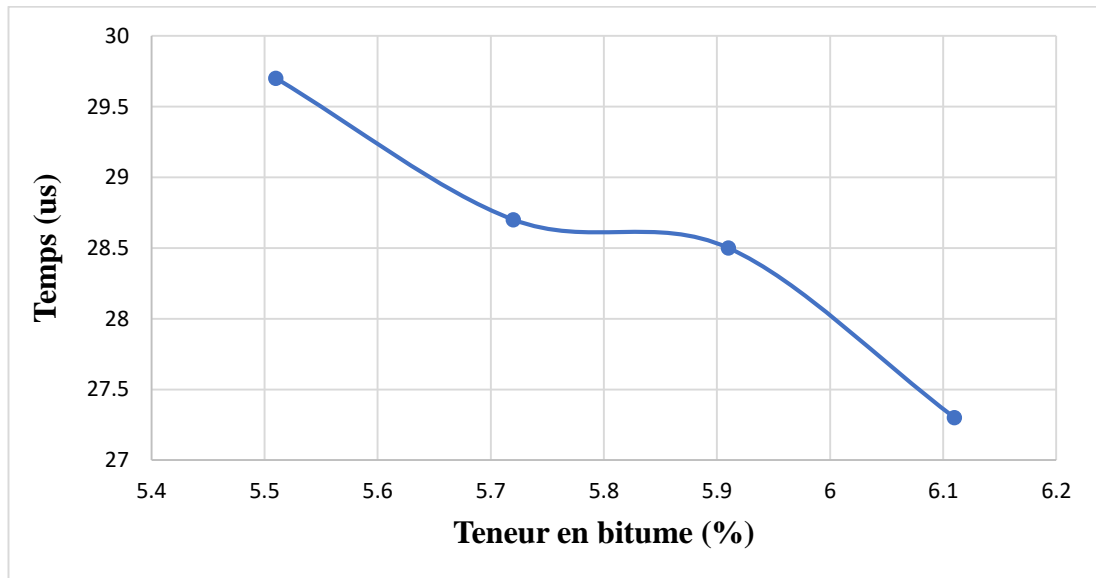


Figure (VI.18) : Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB ordinaire a l'état sec

La mesure du temps de propagation des ondes à l'aide d'ultrason, les mesures ont été faites sur 24 échantillons . D'après les figures ci-dessus, on observe que, si la teneur en bitume augmente ,le temps de propagation des ondes se diminue.

Les figures ci-dessous présentent la variation de vitesse en fonction de la variation de teneur en bitume:

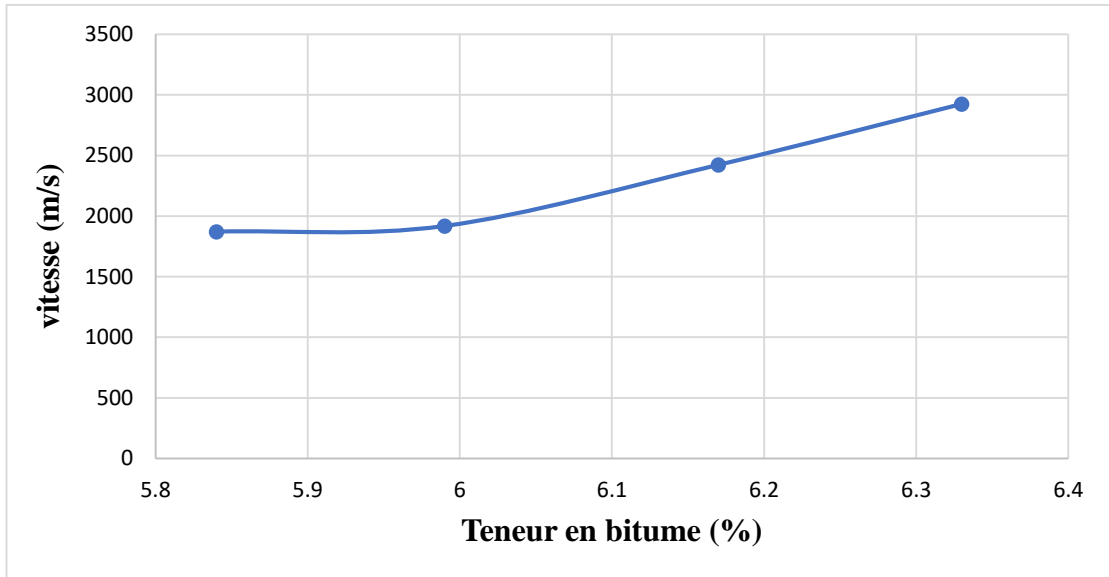


Figure (VI.19) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable blanc a l'état humide

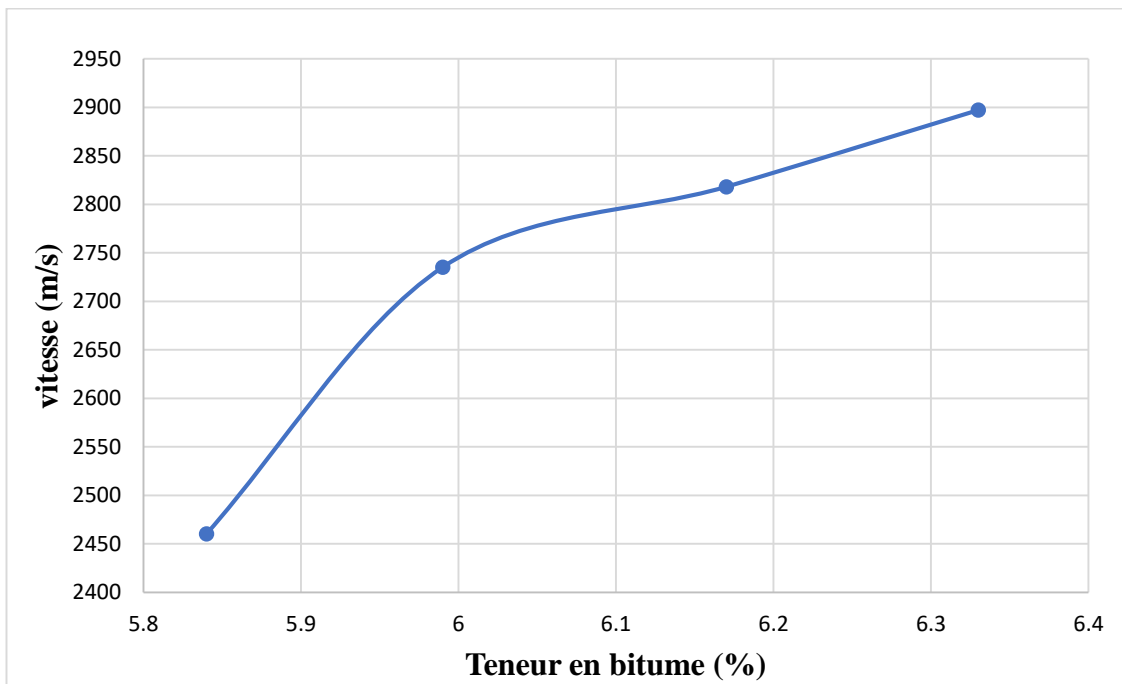


Figure (VI.20) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable blanc a l'état sec

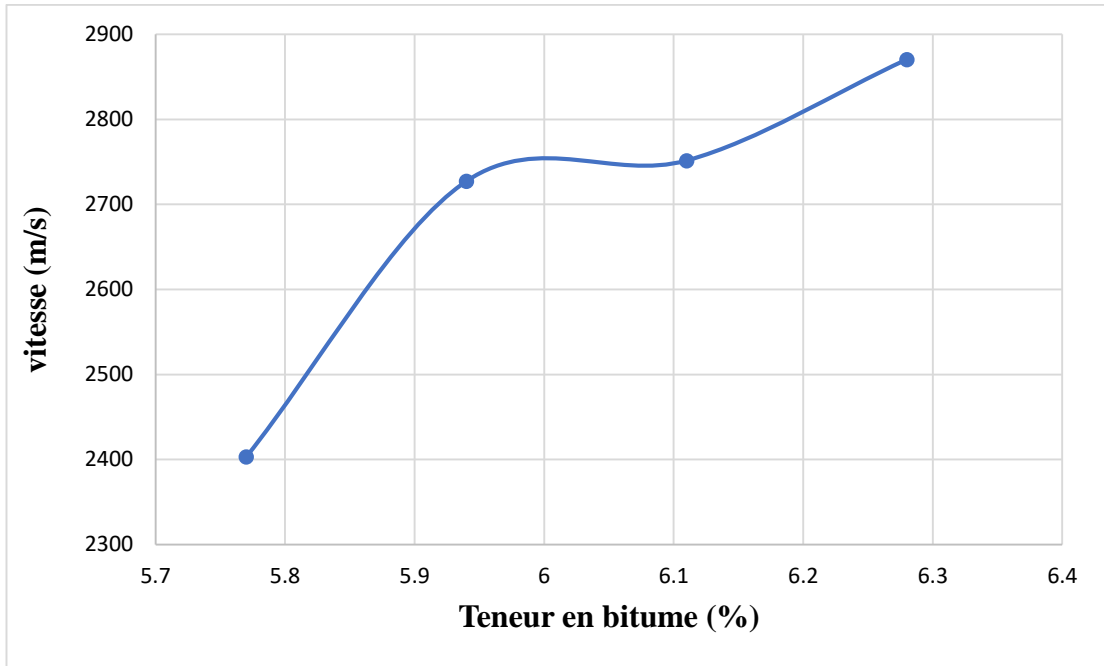


Figure (VI.21) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable jaune a l'état humide

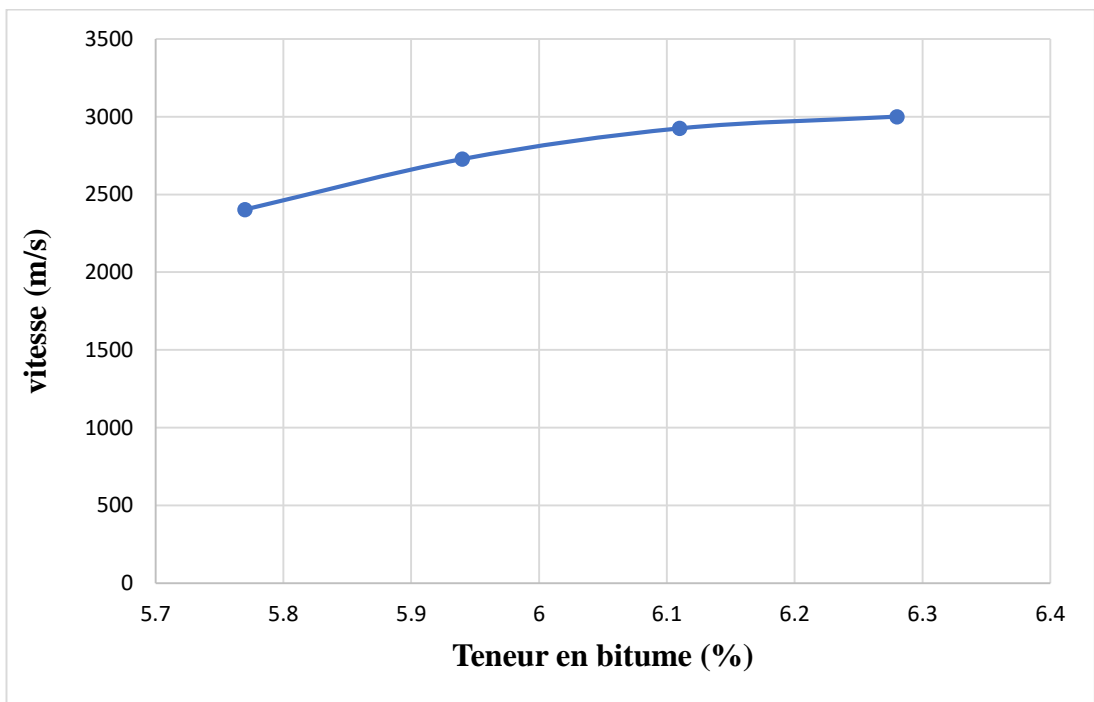


Figure (VI.22) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB à base de sable jaune a l'état sec

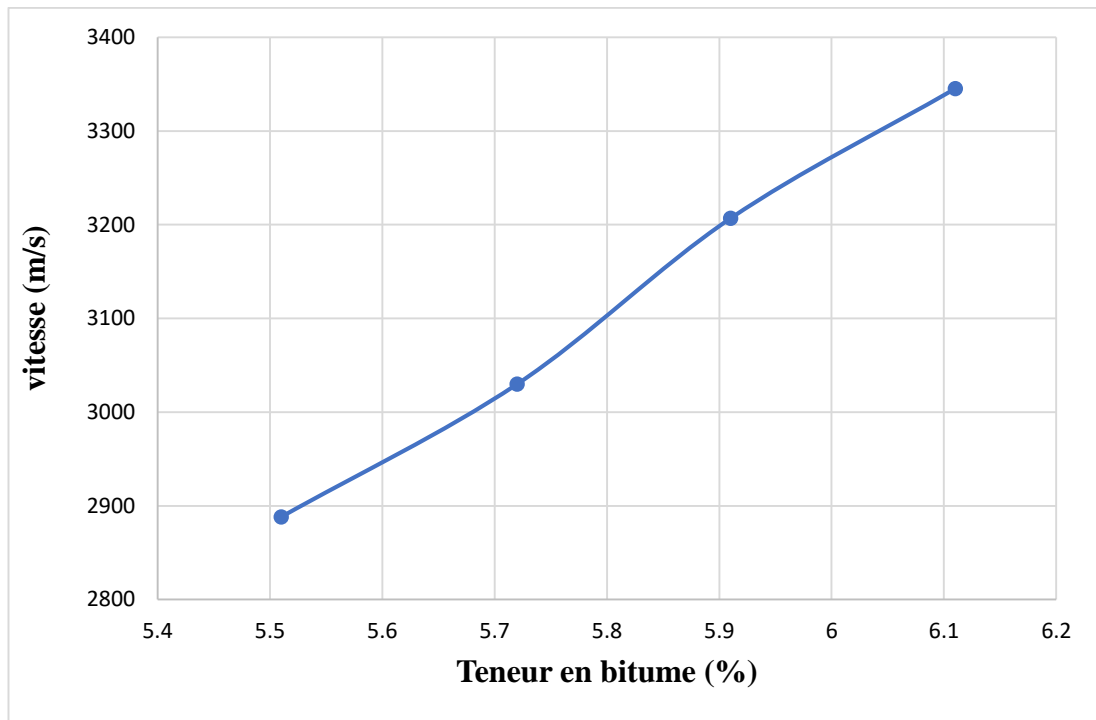


Figure (VI.23) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB ordinaire a l'état humide

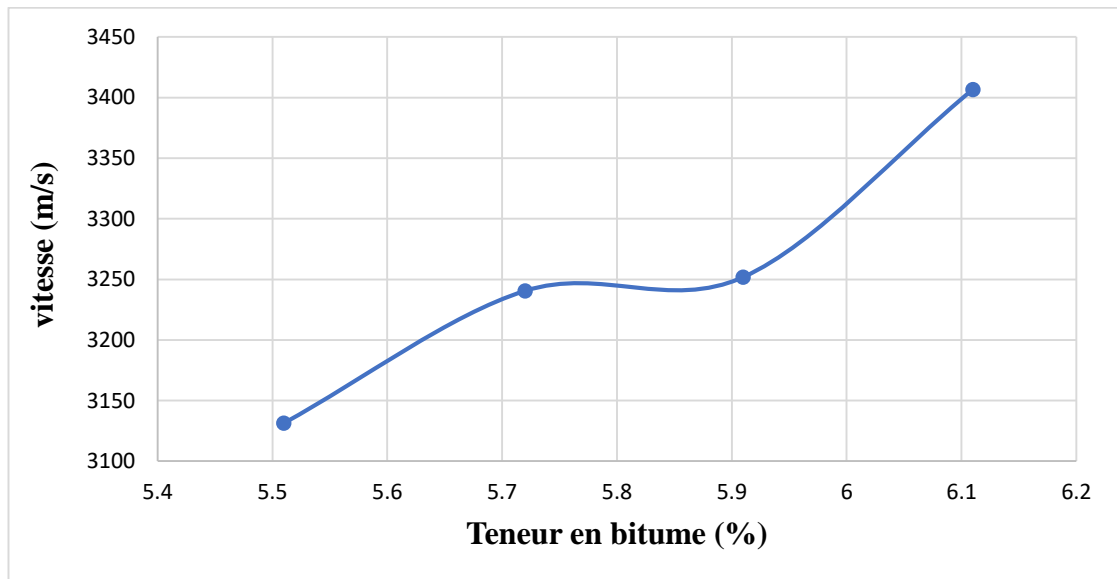


Figure (VI.24) : Vitesse des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de BB ordinaire a l'état sec

D'après les figures ci-dessus, on observe que la valeur de vitesse Augmente avec l'addition du pourcentage de teneur en bitume.

VI.4.Essai Duriez :

L'essai Duriez est réalisé sur les éprouvettes qui contiennent un dosage de bitume optimum correspondant à la meilleure stabilité Marshall.

VI.4.1. Stabilité Duriez :

Les tableaux suivants présentent les résultats obtenus de l'essai Duriez telle que la résistance à la compression avant et après immersion et le rapport entre eux :

Tableau (VI.24) : Résultats Duriez

BB	BB avec SB	BB avec SJ	BB ordinaire
Teneur Bitume (%)	6,17	6,11	5,91
R (MPa)	3,2	1,53	1,76
r (MPa)	2,89	1,45	1,72
Rapport (r/R)	0,90	0,95	0,98

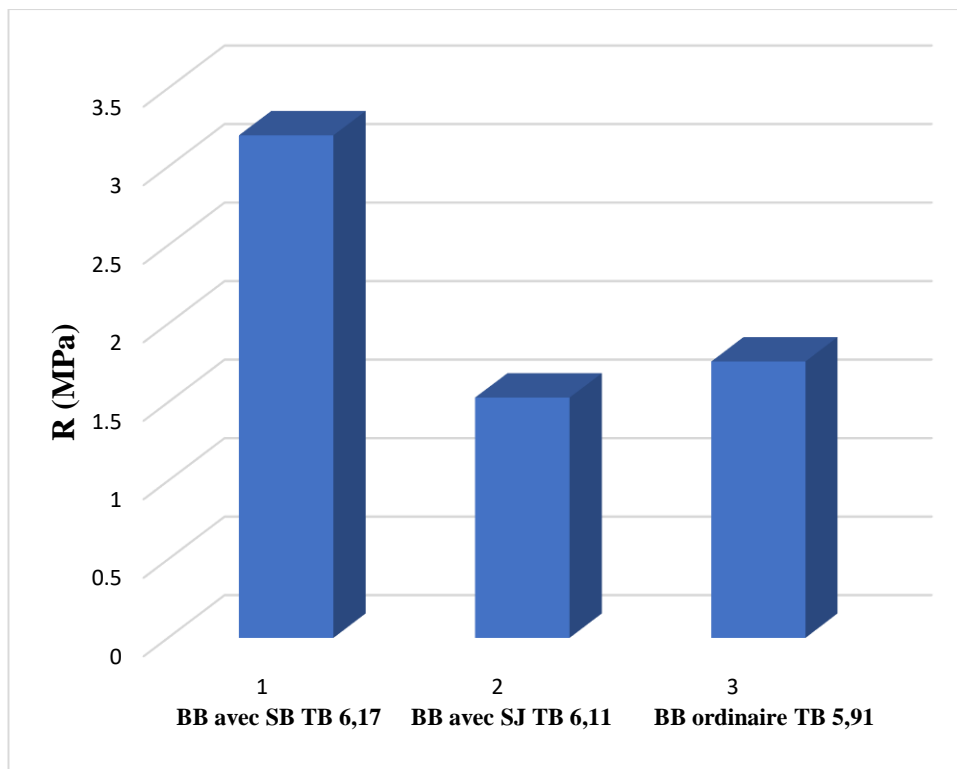


Figure (VI.25): Résistance à la compression après 7 jours sans immersion

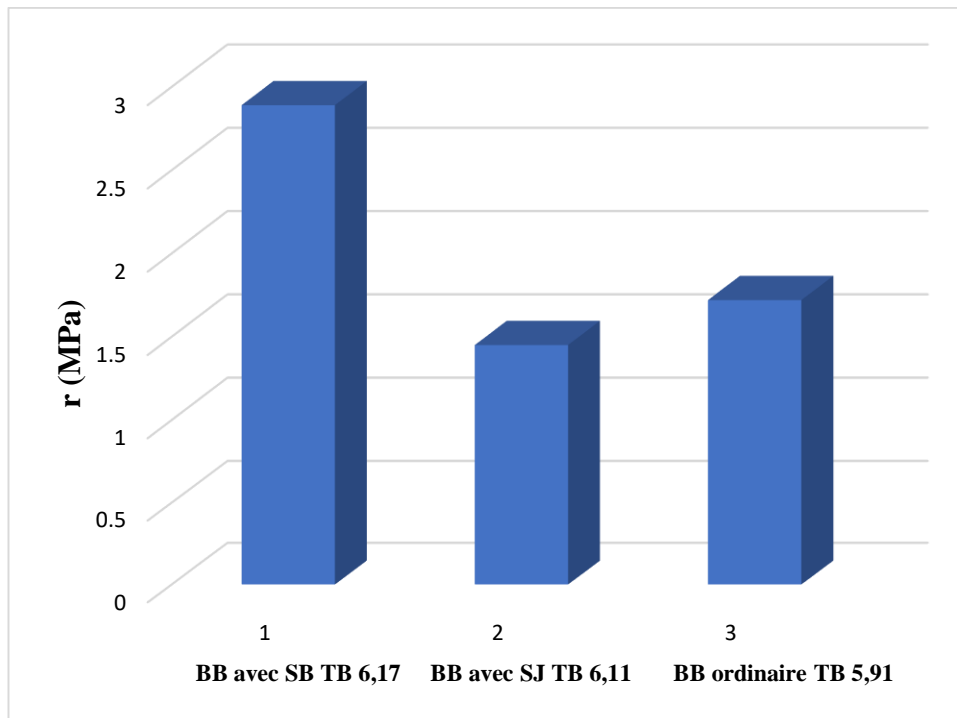


Figure (VI.26): Résistance à la compression après 7 jours avec immersion

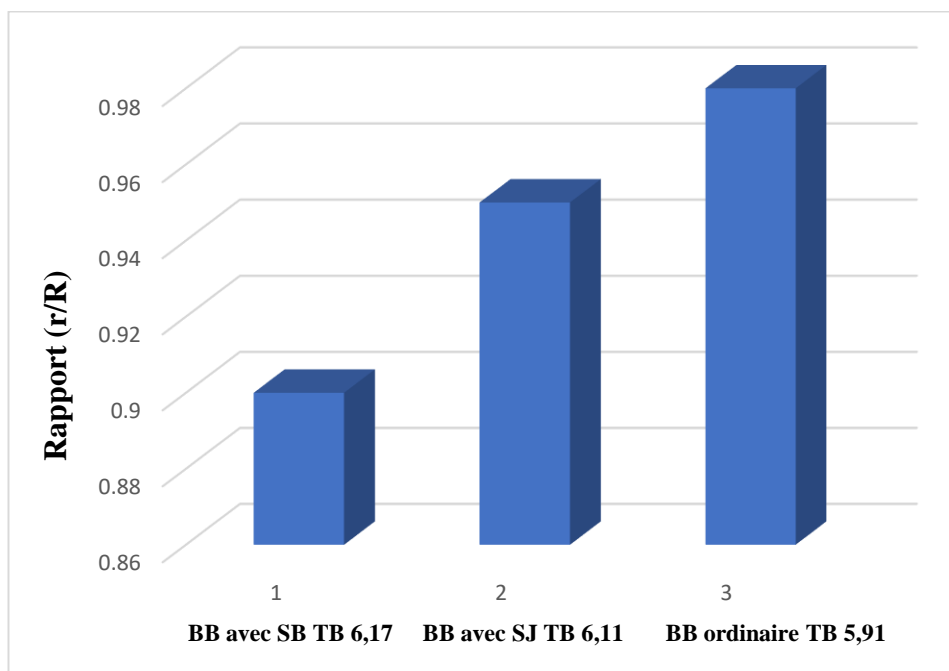


Figure (VI.27): Rapport r/R

D'après les figures ci-dessus, nous remarquons que les rapports (la résistance à la compression après 7 jours sans immersion / la Résistance à la compression après 7 jours avec immersion) dans le BB à base de sable jaune et sable blanc sont acceptables par rapport au BB ordinaire sachant que les normes françaises recommandent une résistance supérieure à 0,80 MPa .

VI.5. Conclusion :

Cette étude nous a permis de mettre en valeur la technique de béton bitumineux à base de sable de mine (sable blanc et sable jaune) et le béton bitumineux ordinaire dans les ouvrages routiers et de préciser un certain nombre de points:

L'étude de formulation des bétons bitumineux ordinaires par la méthode Marshall nous a permis de dévoiler que le pourcentage optimal du bitume est de 5,91% qui donne une stabilité maximale de 10,9 KN et un fluage minimal de 3,3 mm pour une compacité acceptable de l'ordre de 96,95%.

La deuxième étude de formulation du béton bitumineux à base de sable de mine (sable jaune) par la méthode Marshall nous a montré que le pourcentage optimal en bitume est de 6,11% qui correspondent à une stabilité maximale de 14,37 KN et un fluage minimal de 1,75 mm, la compacité est acceptable de 97,11%.

La troisième étude de formulation du béton bitumineux à base de sable de mine (sable blanc) par la méthode Marshall nous a montré que le pourcentage optimal en bitume est de 6,17% qui correspondent à une stabilité maximale de 10,2 KN et un fluage minimal de 1,65 mm, la compacité est acceptable de 96,75%.

Le présent résultat nous montre qu'un substitution de sable concassé par le sable de mine (sable jaune) fait augmente la stabilité du mélange de 35% et la compacité de 1% et diminuer le fluage du mélange de 47% mais, par contre, qu'un substitution de sable concassé par le sable de mine (sable blanc) est un peu acceptable .

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La tendance actuelle est d'adapter la technique routière à l'emploi des matériaux locaux notamment les sables et particulièrement les sables de mine qui se trouvent en abondance dans la mine de djbel el Onk exactement dans la gisement de Kef-Essnoun. Dans ce travail nous avons effectué une caractérisation mécanique, physique et chimique des sables minières de la mine de djbel el Onk.

Cette étude a mis en évidence la possibilité de valorisation du sable de mine dans la formulation de béton bitumineux. Nous avons résolu ainsi un double environnemental, réduire les coûts de préparation et de transport des granulats nécessaires à la réalisation des projets routiers. Ces coûts sont importants et représentent un pourcentage significatif dans le prix de revient final des ouvrages.

Après le prélèvement d'échantillon à partir de la zone de stockage de la mine, les échantillons ont été acheminées vers le laboratoire de l'université de Larbi Tebessi où ils ont été soumis aux différents essais géotechniques, selon les résultats des essais physique, chimique et mécanique, Nous trouvons que le sable est un sable propre mal gradué et d'après le calcul des masse volumique on trouve que le type de sable est un sol minéraux.

L'équivalent de sable du l'échantillon utilisé dans ce travail est 91,3% pour le sable jaune et 70,5% pour le sable blanc donc la nature et qualité du sable est sable très propre

Les résultats de les essais micro Deval et Los Angeles ont démontré que notre gravier est bon pour la réalisation des routes.

Après les essais sur les propriétés mécaniques, physiques et chimiques des deux types de sable et d'agrégats utilisés dans cette étude, a montré que les résultats sont acceptables pour les deux.

Après les résultats de les essais Marshall et Duriez nous avons conclu que la stabilité et le fluage de sable jaune est très fort que le sable concassé utilisé dans le béton bitumineux ordinaire et de autre conclusion les résultats de sable blanc est un peu acceptable.

Cette recherche montre la variabilité des résultats obtenus qui nous ont permis de conclure des Résultats affichés pour les mélanges utilisés dans la formulation BB 0/14 est résumée dans les tableaux suivant qui donnée le pourcentage de chaque composant.

Mélange granulaire du sable jaune	Composition (%)
G 0/3	38
G 3/8	32
G 8/15	30

CONCLUSION GENERALE

Mélange granulaire du sable blanc	Composition (%)
G 0/3	43
G 3/8	21
G 8/15	36

Finalement nous avons conclu que le remplacement de le sable concassé par le sable jaune dans la formulation de béton bitumineux donne plus de stabilité et moins de fluage donc la formulation de béton bitumineux a base de sable jaune est plus résistant que la formulation de béton bitumineux ordinaire.

Recommandations :

Notre étude qui traite la substitution du sable concassé par le sable de mine dans la composition du béton bitumineux et qui a donnée des résistances mécaniques satisfaisantes a aboutit sur les recommandations suivantes :

- Une étude de l'évolution de la résistance mécanique avec le temps (résistance à long terme).
- D'exploiter le volume immense du sable locale pour améliorer les performances de notre réseau routier.
- Veillez à la conformité du bitume.
- Respecter la disposition granulaire du squelette minéral et les teneurs en bitume.
- Respecter les températures de chauffage du bitume et de fabrication de l'enrobé bitumineux.
- Veillez à la conformité du matériel de mise en œuvre.
- Réaliser une planche d'essai avant d'entamer les travaux afin de fixer les modalités de mise en œuvre et respecter ces modalités pendant toute la durée des travaux.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1]. SARA T, IMANE R, caractérisation du sable des mine (Djbel El-Onk) pour la formulation de béton hydraulique, mémoire en vue de l'obtention du diplôme du master Université Larbi tébessi –Tébessa– , 2020 .
- [2]. FRANÇOIS E, FRANCIS A., Les gisements de phosphate de Gafsa, Tunisie., Mars 2013
- [3]. CAMILLE A., Les vertébrés fossiles des gisements de phosphate : Maroc ; Algérie ; Tunisie. Paris 1952.
- [4]. RABAH K , les phosphates du nord du Tébessa (dyr et el kouif) : etude sédimentologique , géologique et géochimique , thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences, université badji mokhtar – Annaba , 2017
- [5]. RABAH K , Typologie géochimique et géostatistique des minerais de phosphates du gisement de Bled El Hadba – Djebel Onk (Algérie Orientale) , mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister , université badji mokhtar – Annaba , 2011
- [6]. MEZGHACHE, H. (1991) ; Bezzi, N *et al.*, (2001) ; Mezghache H. et Hani A. (2002) ; Mezghache, H *et al.*, (2004) ; Bezzi, N *et al.*, (2008). Des mémoires de magister abordant des thèmes relatives aux gisements de Djbel Onk, ont été soutenus tel que Dassamiour, M. (2006) et Boudries, A. (2008).
- [7]. SAADOUNE A , Caractérisation et enrichissement du minerai phosphaté de Djebel EL Onk , Mémoire de master Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Minier ,École Nationale Polytechnique Département de Génie Minier, 2010 .
- [8]. BOUCIF R, TAMOURT M., Étude de stabilité du flanc Nord de la mines de Kef Esnoun- Tébessa, Mémoire de master pour l'obtention du diplôme en Mines, Université Abedrahmane Mira Bejaia, 2015 .
- [9]. MAGASSOUBA M B et ABAKAR M A. ; 2009. Rapport de stage de fin d'étude.
- [10]. BELKAI H , BEN HAMICHE A , évaluation géostatistique des ressources minières << cas de gisement de Kef-esnoun >> , en vue de l'obtention du diplôme de master , Université Abedrahmane Mira Bejaia , 2015.
- [11]. CHAUVIN, J.J. Les sables : guide technique d'utilisation routière. ISTED, P 76. France, 1987
- [12]. GUENNOUN. R, « Étude et formulation d'un béton de sable de dune » Alger, juin 2003.
- [13]. KHETAB. R, « valorisation du sable de dune » thèse de doctorat, Alger, année 2006.
- [14]. REZIG. SALIMA, « Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux » mémoire de magister, Université Mohamed Khider Biskra, année 2012.
- [15]. LAZAR KHALED , « CARACTERISATION ET VALORISATION DU SABLE DU

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

GRAND ERG ORIENTAL ». mémoire de magister , université des sciences et de la technologie Houari-Boumédiène.

[16]. F. GABRYSIK , « Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2 », Académie de Nancy Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/. P 7.

[17]. R. DUPAIN, R. LANCHAN & J.-C. SAINT-ARROMAN , « Granulats, Sols, Ciments et Bétons », Éditions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes, 2000.

[18]. NORME FRANÇAISE NF P 18-553 : Granulats -Préparation d'un échantillon pour essai, AFNOR 1990.

[19]. NORME FRANÇAISE EN 932-1: Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 1: Méthodes d'échantillonnage, AFNOR 1990

[20]. NORME FRANÇAISE NF P18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997

[21]. EN 1097-6 : granulats Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 , indice de classement : P 18-650-6, 1998.

[22]. Norme Française NF P 18-598 : Granulats- Équivalent de sable, AFNOR, 1991

[23].CHABIA, RIHANNA, 2016. Contribution à l'étude des caractéristiques physicomécaniques de béton se sable de dunes et l'influence de milieux de coacervation, mémoire mastère, Université Kasdi Merbah Ouargla.

[24]. AZZOUZ. HOCINE, « Étude des bétons à base des sables de dune » , mémoire de magister, université Mohamed khider Biskra, 2009.

[25]. GEORGES DREUX, JEAN FESTA , « Nouveau guide du béton et de ses constituants» huitième édition ,2002.

[26]. SAFIA.K , valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable – bitume , En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Génie Civil , 2013 .

[27]. Mariama C , Aïcha Hafçatou T , Contribution à la mise en œuvre d'une formulation Optimale de béton bitumineux : application aux concassés de basalte de diack , mémoire en vue l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception , université CHEIKH ANTA DIOP – DAKAR , 2003 .

[28]. [www.guidebeton.com/beton-bitumineux] .

[29]. Helil.H , Khoudja.N , Étude d'un béton bitumineux à base de sables de dunes , mémoire de master en génie civil , Université Kasdi Merbah Ouargla , 2017 .

[30]. J.F. Corté , H. Di Bendetto , Matériaux routiers bitumineux , description et propriétés des constituants, ed. Lavoisier, 2005

[31]. Norme NF EN 1426 (juin 2007) : Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille.

[32]. Norme NF EN 1427 (janvier 2000) : Détermination de la température de ramollissement

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[33]. Shell Bitumes, Bitumes : techniques et utilisations, juin 1991

[34]. CTTTP : les caractérisation d'un enrobé à base de sable de dune par les essais des 4 niveaux de formulation.

[35]. A.Boumadiane : Ingénieur Expert routier « Les bétons bitumineux, Formulation; Exécution; Contrôle de qualité » , Le laboratoire d'expertise d'essais et d'études .

[36]. J.ARRAMBIDE, M.DURIEZ : « Liants routiers et enrobés, matériaux de protection; plâtre - agglomérés - bois », les manuels de l'ingénieur et de technicien de bâtiment et de travaux publics, édition du moniteur des travaux publics, Paris 1959.